

Editorial

Artículos de investigación

- **Modelo de regresión para la estimación de consumo de combustible. Caso de estudio: Lavandería de prendas de vestir** 7-14
Regression model for estimating fuel consumption. Case Study: Clothing Laundry
Eduardo Vargas Cano
- **Redes neuronales artificiales como sistema de soporte al proceso de toma de decisiones estratégicas. Un caso de estudio** 15-24
Artificial neural networks as a support system to the strategy decision making process. A case study
Luciana B. Tabone, Verónica A. Mortara
- **Evolución del liderazgo y la innovación tecnológica: análisis bibliométrico** 25-38
Evolution of leadership and technological innovation: bibliometric analysis
Ana Castillo Torres, Myrna Lezama León, Evangelina Lezama León
- **Análisis del riesgo biomecánico en el personal de una empresa del sector energético de Colombia** 39-49
Analysis of biomechanical risk in the personnel of a company in the energy sector in Colombia
Julián Silva Rodríguez, Angel Zipaquirá Vargas
- **Métodos de avaliação discente na educação em engenharia para a formação baseada em competências** 50-72
Methods of student assessment in engineering education for competency-based education
Letícia Guterres Duarte, Maria Cannarozzo Tinoco

Artículos de divulgación

- **Reconocimiento de símbolos matemáticos manuscritos con técnicas de cadenas ocultas de Markov** 75-84
Recognition of handwritten mathematical symbols using hidden Markov models techniques
Luis Angel Rodríguez, Nathylin C. Mendoza, Franzyuri Hernández F.
- **Disrupción tecnológica: innovación, metaverso, inteligencia artificial** 85-95
Technological disruption: innovation, metaverse, artificial intelligence
Ero Del Canto, José David Mercado

Normas para publicación 96-97

Directora/ Editora—Fundadora

□ **Dra. Ninoska Maneiro Malavé †**

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Agustín Mejías Acosta—Director/Editor

□ **Dra. Florangel Ortiz Zavala.** Universidad de Carabobo, Venezuela

□ **Dr. Mervyn Márquez Gómez.** Universidad Austral de Chile, Chile

□ **Dr. Humberto Gutiérrez Pulido.** Universidad de Guadalajara, México

□ **Dra. Edith Martínez Delgado.** Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cuba

□ **Dra. Marianna Barrios León.** Universidad de Carabobo, Venezuela

□ **Dr. (c) Víctor Andrés Kowalski.** Universidad Nacional de Misiones, Argentina

□ **Dra. María Cannarozzo Tinoco.** Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Brasil

□ **Dr. (c) Iván Santelices Malfanti.** Universidad del Bío-Bío, Chile

□ **Dra. María del Rosario Torres.** Universidad de Carabobo, Venezuela

□ **Dr. Vicente Coll S.** Universidad de Valencia, España

□ **Dra. Mayra D'Armas Renault.** Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

□ **Dra. Cira Lidia Isaac.** Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cuba

□ **Dra. Ruth Illada García.** Universidad de Carabobo, Venezuela

Comité Científico (lista parcial)

□ **Eduardo Vargas Cano,** Universidad de Carabobo, Venezuela

□ **Juan Gabriel Triana Laverde,** Universidad Agustiniana, Colombia

□ **María González García.** Universidad Politécnica de Madrid, España

□ **Martín Cadena Badilla.** Universidad de Sonora, México

□ **Javier E. Martínez Guirao** Universidad de Murcia, España

□ **Marisela Giraldo.** Universidad Técnica del Norte, Ecuador

□ **Francisco Figueredo.** Universidad del Carabobo, Venezuela

□ **Henry Hernández Vega.** Universidad de Costa Rica, Costa Rica

□ **Luis Troccoli.** Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador

□ **Alex Mauricio Ovalle Castiblanco.** Universidad Autónoma de Manizales, Colombia

□ **Guillermo Flores Téllez.** Asociación Mexicana de TRIZ

□ **Arturo Vega Robles.** Universidad de Sonora, México

□ **Juan Carlos Michalus.** Universidad Nacional de Misiones, Argentina

□ **Rodrigo Pessotto Almeida.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

□ **Enrique Flores** Universidad del Carabobo, Venezuela

□ **Álvaro González-Angeles.** Universidad Autónoma de Baja California, México

□ **João Helvio Righi de Oliveira.** Universidad Federal de Santa María, Brasil

□ **Eduin Contreras.** Universidad de Boyacá, Colombia

□ **Dunia Duque.** Universidad Austral de Chile, Chile

□ **Jonatas Ost Scherer.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Ingeniería Industrial		31
Actualidad y Nuevas Tendencias		ISSN: 1856-8327 e-ISSN: 2610-7813
Editorial		
Artículos de investigación		
- Modelo de regresión para la estimación de consumo de combustible. Caso de estudio: Lavandería de prendas de vestir <i>Regression model for estimating fuel consumption. Case Study: Clothing Laundry</i> Eduardo Vargas Cano	7-14	
- Redes neuronales artificiales como sistema de soporte al proceso de toma de decisiones estratégicas. Un caso de estudio <i>Artificial neural networks as a support system to the strategy decision making process. A case study</i> Luciana B. Tabone, Verónica A. Mortara	15-24	
- Evolución del liderazgo y la innovación tecnológica: análisis bibliométrico <i>Evolution of leadership and technological innovation: Bibliometric analysis</i> Ana Castillo Torres, Myrta Lezama León, Evangelina Lezama León	25-38	
- Análisis del riesgo biomecánico en el personal de una empresa del sector energético de Colombia <i>Analysis of biomechanical risk in the personnel of a company in the energy sector in Colombia</i> Julían Silva Rodríguez, Angel Zizaquina Vargas	39-49	
- Métodos de evaluación discreta en educación en ingeniería para a formación baseada em competências <i>Methods of student assessment in engineering education for competency-based education</i> Leticia Guterres Duarte, Maria Caruarozo Tinoco	50-72	
Artículos de divulgación		
- Reconocimiento de símbolos matemáticos manuscritos con técnicas de cadenas ocultas de Markov <i>Recognition of handwritten mathematical symbols using hidden Markov models techniques</i> Luis Ángel Rodríguez, Nathán C. Mendoza, Francisco Hernández F.	75-84	
- Disrupción tecnológica: innovación, metaverso, inteligencia artificial <i>Technological disruption: innovation, metaverse, artificial intelligence</i> Ero Del Cano, José David Mercado	85-95	
Normas para publicación	96-97	

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

JESSY DIVO DE ROMERO

Rectora

JOSÉ ÁNGEL FERREIRA

Vicerrector Administrativo

ULISES ROJAS

Vicerrector Académico

PABLO AURE

Secretario

Manuel Jiménez
Decano - Facultad de
Ingeniería

Ángel Almarza
Director de
Investigación

Carmen Guedez
Directora - Escuela de
Ingeniería Industrial

REVISTA INGENIERÍA INDUSTRIAL: ACTUALIDAD Y NUEVAS TENDENCIAS.

Publicación Semestral editada y distribuida por la Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad de Carabobo. Av. Universidad, Facultad de Ingeniería. Bárbula, Estado Carabobo, Venezuela. CP 2005.

Contacto telefónico: 00-58-424-419.4096

e-mail: revistaiiaynt@gmail.com, revistaiiaynt@uc.edu.ve

Órgano de Difusión Científica y Tecnológica de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Carabobo. Valencia-Venezuela.

ISSN: 1856-8327 / e-ISSN: 2610-7813

Depósito Legal: pp200702CA2736

Registrada en la base de datos del Centro de Información y Documentación de la Universidad de Carabobo (<http://www.cid.uc.edu.ve>), en el Índice de Revistas Venezolanas de Ciencia y Tecnología—REVENCYT—(ULA-Venezuela), Actualidad Iberoamericana (CIT-Chile), REDALYC (UAEM-México), en el Catálogo LATINDEX (UNAM-México) y en PERIODICA (UNAM-México)

Tiraje: 300 Ejemplares

Año 16, Vol. VIII, N° 31, Diciembre 2023

Los artículos firmados son responsabilidad de su autor y no reflejan necesariamente el criterio de la institución, a menos que se especifique lo contrario. En caso de reproducción se agradece citar la fuente y enviar ejemplares del medio utilizado a la Escuela de Ingeniería Industrial, en la dirección dada previamente, a fin de acreditar la referencia al autor respectivo.



Tabla de contenido

Editorial	
Artículos de investigación	
- Modelo de regresión para la estimación de consumo de combustible. Caso de estudio: Lavandería de prendas de vestir	7-14
<i>Regression model for estimating fuel consumption. Case Study: Clothing Laundry</i>	
Eduardo Vargas Cano	
- Redes neuronales artificiales como sistema de soporte al proceso de toma de decisiones estratégicas. Un caso de estudio	15-24
<i>Artificial neural networks as a support system to the strategy decision making process. A case study</i>	
Luciana B. Tabone, Verónica A. Mortara	
- Evolución del liderazgo y la innovación tecnológica: análisis bibliométrico	25-38
<i>Evolution of leadership and technological innovation: bibliometric analysis</i>	
Ana Castillo Torres, Myrna Lezama León, Evangelina Lezama León	
- Análisis del riesgo biomecánico en el personal de una empresa del sector energético de Colombia	39-49
<i>Analysis of biomechanical risk in the personnel of a company in the energy sector in Colombia</i>	
Julián Silva Rodríguez, Angel Zipaquira Vargas	
- Métodos de avaliação discente na educação em engenharia para a formação baseada em competências	50-72
<i>Methods of student assessment in engineering education for competency-based education</i>	
Letícia Guterres Duarte, Maria Cannarozzo Tinoco	
Artículos de divulgación	
- Reconocimiento de símbolos matemáticos manuscritos con técnicas de cadenas ocultas de Markov	75-84
<i>Recognition of handwritten mathematical symbols using hidden Markov models techniques</i>	
Luis Angel Rodríguez, Nathylin C. Mendoza, Franzyuri Hernández F.	
- Disrupción tecnológica: innovación, metaverso, inteligencia artificial	85-95
<i>Technological disruption: innovation, metaverse, artificial intelligence</i>	
Ero Del Canto, José David Mercado	
Normas para publicación	96-97

EDITORIAL

EDITORIAL

Competencias digitales, gestión de datos y habilidades de colaboración y comunicación... herramientas clave para el Ingeniero Industrial.

<https://doi.org/10.54139/riiant.v8i31.593>

«La Ingeniería Industrial es una disciplina que se encarga de aplicar los principios de la ingeniería y la gestión para mejorar la eficiencia y productividad de los sistemas y procesos en una organización; su objetivo principal es optimizar los recursos humanos, materiales y financieros para garantizar la máxima eficiencia y rentabilidad en la producción de bienes o servicios». Así responde ChatGPT cuando se le pide que defina **Ingeniería Industrial**, agregando que «Los ingenieros industriales analizan los procesos de trabajo, identifican áreas de mejora, diseñan y implementan soluciones para incrementar la productividad, reducir costos, mejorar la calidad y garantizar la seguridad laboral; además, también se encargan de gestionar y coordinar equipos de trabajo y tomar decisiones estratégicas para el desarrollo y crecimiento de una empresa». Esa es nuestra esencia, sin embargo, en la búsqueda constante de oportunidades para mejorar, debemos estar abiertos e identificar habilidades y competencias para acompañar estas tecnologías disruptivas que evidentemente caracterizaran los procesos, los sistemas y en general, la toma de decisiones en el ecosistema organizacional de estos nuevos tiempos por venir.

Como lo señala el Ing. Monroy-Benitez, de la Sociedad Colombiana de Ingenieros ([Anales de Ingeniería, edición 960](#)), en la actualidad, la ingeniería, donde se incluye la ingeniería

industrial, no es solo una disciplina sino también, el motor impulsor detrás de la profunda transformación que la sociedad está experimentando. Y, como lo plantea el Ing. González-Araujo, de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería ([El futuro de la ingeniería industrial](#)), “No podemos quedarnos en que cambie la profesión, sino que se mantenga su esencia; pero tiene que estar adaptada y reconocida a las nuevas tendencias globales”. En resumen, mantener nuestra esencia pero acompañar esta transformación disruptiva, que pasa por identificar el perfil clave para el ingeniero industrial; y, en las que hay más consenso es en, el dominio eficaz de las competencias digitales, la gestión efectiva de datos, y las habilidades de colaboración y comunicación como amalgama.

Las competencias digitales permiten a los ingenieros industriales, no solamente utilizar la tecnología para fines profesionales en su entorno laboral, sino que va más allá, apoyándole en sus actividades de aprendizaje, compras, información, entretenimiento y participación en la sociedad: como lo señala la [OIT](#), están vinculadas a casi todos los aspectos del trabajo y la vida de la gente, y le ayudan a mejorar su empleabilidad, productividad, creatividad y resiliencia para responder a los cambios tecnológicos. La habilidad para manejar datos, por su parte, tiene como

principio fundamental el «*pensamiento estadístico*», una forma sistemática de pensar sobre cómo describimos el mundo y utilizamos los datos para tomar decisiones y predicciones, todo en el contexto de la incertidumbre inherente que existe en el mundo real (Poldrack, 2023); sin esta competencia, nos convertimos en simple usuarios de información, y no aprovechamos todas las ventajas que trae el análisis e interpretación de los datos. Estas dos competencias se completan con una habilidad blanda que sirve de amalgama para la toma de decisiones: la colaboración y la comunicación; de nada vale contar con competencias digitales y habilidades para la gestión de datos, si al final, no se transforman estos resultados en insumos para mis grupos de interés, mis *stakeholders*.

En este número de Nuestra Revista, se discuten aspectos relacionados con estas tres competencias y se deja el campo para muchas otras. Vargas, en Venezuela, presenta un estudio de casos donde plantea un modelo de regresión para la estimación de consumo de combustible; mientras que Tabone y Montora, en su estudio de caso desde Argentina, plantean las redes neuronales artificiales como sistema de soporte al proceso de toma de decisiones estratégicas. Por su parte Castillo, Lezama y Lezama, desde México, realizan un análisis bibliométrico sobre la evolución del liderazgo y la innovación tecnológica; mientras que, Silva y Zipaquira, desde Colombia, analizan con apoyo de métodos estadísticos el riesgo biomecánico en el personal de una empresa del sector energético Colombiano; y, Duarte y Tinoco, desde Brasil, discuten sobre los métodos de evaluación de estudiantes en la educación en ingeniería basada en competencias. Así mismo, Rodríguez, Mendoza y Hernández, desde Venezuela, abordan el reconocimiento de símbolos

matemáticos manuscritos con técnicas de cadenas ocultas de Markov; y, Del Canto, hace unas reflexiones sobre la disrupción tecnológica que plantea la innovación, el metaverso y la inteligencia artificial, en esta sociedad digital. Estas contribuciones, no solo dejan en evidencia el papel predominante que tienen las competencias digitales y la gestión estadística de los datos en la investigación en ingeniería industrial, sino que al ser producto de redes de investigación y de equipos multidisciplinarios, es clara la necesidad de la colaboración y la comunicación para este ejercicio profesional.

El Equipo Editorial de la Revista, una vez más, agradece la contribución de cada uno de sus colaboradores para hacer posible este número. Así mismo, mantiene las puertas abiertas a la participación en cada una de las etapas y roles dentro de este mágico proceso de publicar nuestra “*Revista Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias*”.

Por el Comité Editorial

Dr. Agustín Mejías Acosta

*Dra. Mayra D’Armas Regnault (Editora invitada)
Diciembre, 2023

*Vicerrectora de Vinculación de la Universidad
Estatad de Milagro, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-6288-1566>

mdarmasr@unemi.edu.ec



Signatory of
DORA

Modelo de regresión para la estimación de consumo de combustible. Caso de estudio: Lavandería de prendas de vestir

Regression model for estimating fuel consumption. Case Study: Clothing Laundry

Eduardo Vargas Cano

<https://doi.org/10.54139/riiant.v8i31.594>

Palabras clave: regresión lineal, consumo de combustible, estimación de costos

Key words: linear regression, fuel consumption, cost estimation

RESUMEN

La presente investigación muestra el uso de la regresión lineal múltiple para explicar el consumo diario en litros de combustible que se suministra a una caldera durante el proceso de lavado, secado y planchado de prendas de vestir fabricadas en tela tipo Denim. Para ello, se usaron los registros de producción de 113 días correspondiente a un semestre continuo de trabajo. Se encontró que el consumo de combustible del equipo generador de vapor se puede modelar a partir de dos variables de producción: cantidad de prendas lavadas (y secadas) y las horas de funcionamiento de la caldera. El modelo, significativo al 1%, tiene un coeficiente de determinación ajustado de 99,28% indicando que por cada prenda lavada y por cada hora de funcionamiento de la caldera se consumen 0,03007 y 22,77615 litros de gasoil, respectivamente. Además, se usó un modelo de regresión sin constante, ya que en términos prácticos la constante no tiene interpretación alguna en la situación de estudio. Conocer el comportamiento de esta variable, permitiría a los planificadores tanto de producción como de finanzas establecer estrategias para garantizar el suministro de este material indirecto al proceso una vez determinado el Plan de Producción general de la empresa y los Programas de Producción para cada uno de los centros de trabajo.

ABSTRACT

This research shows the use of multiple linear regression to explain the daily consumption in liters of fuel that is supplied to a boiler during the process of washing, drying and ironing clothing made of Denim type fabric. For this, production records of 113 days corresponding to a continuous semester of work were used. It was found that the fuel consumption of the steam generating equipment can be modeled from two production variables: number of clothes washed (and dried) and the hours of boiler operation. The model, significant at 1%, has an adjusted coefficient of determination of 99.28% indicating that for each garment washed and for each hour of boiler operation, 0.03007 and 22.77615 liters of diesel are consumed, respectively. Furthermore, a regression model without a constant was used, since in practical terms the constant has no interpretation in the study situation. Knowing the behavior of this variable would allow both production and finance planners to establish strategies to guarantee the supply of this indirect material to the process once the company's general Production Plan and the Production Programs for each of the processes have been determined. work centers.

INTRODUCCIÓN

La sociedad humana se ha desarrollado basándose fundamentalmente en el aprovechamiento de las fuentes energéticas primarias presente en la naturaleza. La dependencia con respecto al uso de combustibles fósiles ha generado dos tipos de preocupaciones: por un lado, los impactos ambientales asociados y, en especial, sus efectos en el cambio climático; por otro, la limitación de reservas y su futuro agotamiento. Las dos preocupaciones han dominado en diferentes momentos históricos generando iniciativas de reducción de emisiones para los países con mayor generación de dióxido de carbono (Guardela, 2020; Salaet y Roca, 2010). Por otra parte, el consumo de energía es un tema de relevancia en el ámbito industrial porque este aumenta la productividad y generalmente tiene un peso relevante en los costos operacionales de las empresas (Torres et al., 2021). Este hecho induce a las empresas a conocer y monitorear eficazmente la evolución de sus indicadores de consumo energético.

Las crisis económicas implican regularmente un cambio estructural en las economías, provocando dentro de las organizaciones, y específicamente en la empresa caso de estudio, iniciativas de mejoras para la reducción de costos, acentuando el esfuerzo en la reducción de los costos por consumo de combustible buscando mejorar la eficiencia de sus equipos consumidores. Para darle una solución satisfactoria a la situación, se recurre al uso de la modelación

matemática, para encontrar, dentro del proceso, variables de producción como cantidad de prendas procesadas en los centros de trabajo y/o el tiempo de uso de los equipos, que permitan explicar el consumo de combustible tipo diesels (también conocido como gasóleo o gasoil) para luego poder modelarlo y controlarlo. Conocer la estructura de costos permite inclusive ajustar los precios de venta y ser más competitivos en el mercado sin desmejorar la rentabilidad del negocio. Por ello, la modelización matemática es entonces una herramienta clave dentro del proceso de resolución de problemas contextualizados en la que se elabora un modelo matemático para describir el fenómeno real estudiado (Aymerich & Albarracín, 2022), así pues, los modelos de estimación se transforman en sistemas que representan relaciones causales y su diseño requiere de la toma de decisiones relativa a los métodos de estimación, es decir, al orden, a la secuencia y al procedimiento.

En este caso de estudio, el objetivo es estimar parámetros de un modelo que explica el consumo diario en litros de combustible (diésel, también conocido como gasóleo o gasoil) que se suministra a una caldera tipo paquete, monobloque, de tubos de humo, durante el lavado, secado y planchado de prendas de vestir fabricadas en tela tipo Denim.

Para encontrar un modelo que explique el consumo de litros de combustible, luego de realizar un análisis exploratorio de los datos, se hizo uso de la Regresión Lineal

Múltiple ya que se visualizó que las variables explicativas se asociaban de forma lineal con el consumo diario de combustible, y, según Astorga (2014), es la Regresión Lineal es ampliamente usada en la ingeniería ya que sirve para analizar el comportamiento de las variables de entrada (o regresoras) y salida (o respuesta) estableciendo predicciones y estimaciones. Este modelo se ajusta entonces a lo que se quiere lograr: la estimación de parámetros, que en parte, permitan a la Planificación tanto de Producción como Financiera, estimar consumos y costo de material. Además, en el ámbito de la gestión energética, se ha utilizado el análisis de regresión para modelar desde indicadores de eficiencia como variables de consumo, tales son los casos presentados en los estudios realizados por Torres et al. (2021), Pico et al. (2019), Valencia et al. (2019),

Crespo et al. (2018). En otras áreas de la ingeniería y la producción es común observar estudios que se fundamentan en el análisis de regresión, tales como los realizados por Rodríguez et al. (2023), Palominos-Rizzo et al. (2022), Naranjo et al. (2021), Morantes et al. (2019), Puente et al. (2015), y, Lago (2007), entre otros.

Tomando en cuenta que se quiere un modelo simple, sencillo, de fácil interpretación, y de uso posterior para tareas de planificación y estimación de costos, no se plantea el uso de modelos jerárquicos. Pico et al. (2019) realiza un estudio similar para estimar los parámetros energéticos de desempeño, indicando en el mismo una metodología para estimar éstos por técnicas de regresión, identificando la unidad de estudio, el proceso, las variables de decisión, el modelo, y por último las estimaciones.

METODOLOGÍA

Este estudio se llevó a cabo en una Lavandería Industrial de prendas de vestir en tela tipo Denim, la cual usa una Caldera para generar el vapor que a través de tuberías llega hasta los equipos de lavado, secado y planchado. El combustible que usa la Caldera es del tipo Gasoil. El proceso de producción está conformado por tres centros de trabajo de volumen bajo, donde se ejecutan las tareas de Lavado y Secado, Manualidades y Sandblasting, y Planchado. Los centros de trabajo que hacen uso indirecto del combustible (gasoil) son los que tienen por objeto el lavado/secado de la prenda y el planchado,

ya que para ambas tareas es necesario usar el vapor generado por la Caldera. La duración del estudio fue de 6 meses, donde se pudo analizar la data de 113 días de producción.

Para estimar el consumo de combustible, en litros, se planteó el modelo lineal:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon \quad (1)$$

Donde:

y : Consumo diario de combustible, en litros.

x_1 : Cantidad de prendas lavadas, en un día.

x_2 : Cantidad de prendas planchadas, en un día.

x_3 : Horas de funcionamiento de la caldera/ día.

Dado que para el punto $(x_1, x_2, x_3) = (0, 0, 0)$, y más específicamente $x_3 = 0$, no se tendría

consumo de combustible, el modelo planteado queda de la siguiente manera:

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon \quad (2)$$

Usando herramientas de cálculo, se determinaron modelos de regresión múltiple utilizando los siguientes métodos: Introducir (ENTER, procedimiento para la selección de variables en el que todas las variables se introducen en un solo paso.), Escalonado (STEPWISE, que realiza la selección de las variables al agregar o eliminar predictores del modelo existente con base en la prueba F), Eliminar (REMOVE, procedimiento para la selección de variables en el que las variables se eliminan en un solo paso), Hacia atrás (BACKWARD, la eliminación hacia atrás comienza con el modelo que contiene todos los términos y luego elimina los términos, uno a la vez, utilizando el mismo método que el procedimiento escalonado. Ninguna variable se puede volver a ingresar en el modelo) y Hacia adelante (FORWARD, la selección hacia adelante agrega variables al modelo utilizando el mismo método que el procedimiento escalonado. Una vez agregada, una variable nunca se elimina),

RESULTADOS

Realizados los procedimientos para selección de variables, para modelos con regresión en el origen, en la Tabla 1 se muestra un resumen de las bondades de ajustes para los diferentes subconjuntos, entendiendo bondad de ajuste como el grado de acoplamiento que existe entre los

incluyendo un procedimiento resumen con la evaluación de los mejores subconjuntos. Con el propósito de obtener un modelo en específico, seleccionando aquel modelo con mayor Coeficiente de Determinación (R^2); seguido, se evaluó la significancia global y parcial, además de las pruebas de significancia de la regresión para determinar si estadísticamente hay una relación lineal entre el consumo diario de combustible y las variables regresoras x_1 , x_2 , x_3 . Este procedimiento suele considerarse como una prueba general o global de la adecuación del modelo. La hipótesis nula para este contraste corresponde a $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$, planteando como hipótesis alternativa el hecho de que al menos un β_j sea distinto de cero para $j = 1, 2, 3$. Luego, se hacen las pruebas sobre los coeficientes individuales de regresión (Mendenhall et al., 2023; Montgomery & Runger, 2020). Una vez estimados los parámetros del modelo, se realizaron las pruebas para verificar el cumplimiento de los supuestos asociados a los errores aleatorios, ya que éstos deben ser independientes y normalmente distribuidos con $E(\varepsilon_i) = 0$ y una varianza $\text{Var}(\varepsilon_i) = \sigma^2$.

datos originales y los valores teóricos que se obtienen de la regresión. Obviamente cuanto mejor sea el ajuste, más útil será la regresión a la pretensión de obtener los valores de la variable regresando a partir de la información sobre la variable regresora. Los cálculos fueron realizados con R, versión 4.2.2, (2022-10-31 ucrt).

Tabla 1. Regresión de los mejores subconjuntos: y vs. x_1, x_2, x_3

Vars	R ²	R ² (ajust)	R ² (pred.)	Cp de Mallows	S	X ₁	X ₂	X ₃
1	77.7	77.5	76.6	16.4	39.406			X
1	35.2	34.6	31.6	255.3	67.151	X		
2	80.2	79.9	78.8	4.1	37.247	X		X
2	78.8	78.4	77.3	12.2	38.582		X	X
3	80.6	80.1	78.8	4.0	37.068	X	X	X

En esta caso, el modelo con las variables x_1 y x_3 , y el modelo que incluye todas las variables, son los que tienen un menor valor de Cp de Mallows, lo que indica que estos modelos son relativamente precisos (tienen una varianza pequeña) para estimar los coeficientes de regresión verdaderos y pronosticar futuras respuestas.

El modelo con el menor Cp de Mallows, que considera las tres variables, tiene un R²ajustado de 99,28%; sin embargo, al realizar las pruebas de significancia al 1%, la variable x_2 es no significativa, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. ANOVA para el modelo de regresión considerando las tres variables

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	F ₀	Valor p
Regresión	3	22377719	7459240	5214.67	≈0.000
x_1	1	16576	16576	11.59	0.001
x_3	1	887669	887669	620.56	≈0.000
x_2	1	1860	1860	1.30	0.257
Error	110	157348	1430		
Total	113	22535067			

Dado este resultado, se excluye la variable x_2 del modelo, considerando solamente como variables regresoras a x_1 (cantidad de prendas lavadas, en un día) y x_3 (horas de funcionamiento, en un día), obteniendo que tanto el modelo en

general como sus variables regresoras resultan ser significativas, tal como se muestra en la Tabla 3, con un R²ajustado de 99,28%.

Tabla 3. ANOVA para el modelo de regresión considerando las variables x_1 y x_3

Fuente	gl	SC Ajust	MC Ajust.	F ₀	Valor p
Regresión	2	22375859	11187930	7800.28	≈0.000
x_1	1	21758	21758	15.17	≈0.000
x_3	1	1237366	1237366	862.70	≈0.000
Error	111	159207	1434		
Total	113	22535067			

Así, el modelo encontrado para modelar el consumo diario de combustible, en litros, sería:

$$y = 0,03007x_1 + 22,77615x_3 \quad (3)$$

Donde:

y : Consumo diario de combustible, en litros.

x_1 : Cantidad de prendas lavadas, en un día.

x_3 : Horas de funcionamiento de la caldera/día.

La prueba para la significación de los coeficientes confirma la significancia de éstos tal como se muestra en el Tabla 4.

Tabla 4. Prueba para la significación de los coeficientes, de forma individual

Término	Coef.	EE coef.	T ₀	Valor p
x_1	0.03007	0.00772	3.89	≈0.000
x_3	22.776	0.775	29.37	≈0.000

En relación al cumplimiento del supuesto de Normalidad para los errores, se aplicaron las pruebas de Anderson-Darlin, Ryan Joiner, y Kolmogorov Smirnov, comprobando en cada una de ellas el ajuste a la Distribución Normal de los errores.

Tabla 5. Pruebas de bondad de ajuste a la Distribución Normal para los errores

Estadístico	Valor del Estadístico	Valor p
Anderson-Darling	0.591	0.120
Ryan Joiner	0.062	>0.150
Kolmogorov Smirnov	0.994	>0.100

Discusión

El objetivo es estimar los parámetros de un modelo, que resultó ser lineal, que explica el consumo diario en litros de combustible gasoil que se suministra a una caldera y así dar información a los planificadores tanto de producción como de finanzas para el establecimiento de estrategias que garanticen el suministro de este material indirecto al proceso de producción. El modelo encontrado en la Ecuación 3, indica, con los valores de sus parámetros, que por cada prenda lavada en un día de producción se consumen, en promedio, 0,03007 litros de gasoil; y,

CONCLUSIONES

El modelo encontrado para explicar el comportamiento de la variable "consumo diario de combustible, en litros" en términos de la cantidad de prendas lavadas y las horas de funcionamiento del equipo

además, por cada hora de funcionamiento de la caldera, se consumen, adicionalmente, 22,77615 litros de combustible.

Esta información resulta útil tanto para el área de Producción como para el área de Finanzas de la empresa, ya que para determinados niveles de producción fijados en un plan o programa, se puede estimar la cantidad de material requerido para el proceso y los niveles de inventario óptimos, con lo que se pueden diseñar la capacidad de almacenamiento y los planes de capacidad. Por otra parte, fijado el mismo plan de producción y los programas, con el costo unitario del combustible, se puede realizar la planificación financiera de la empresa y estimar los requerimientos de recursos y determinar las fuentes de financiamiento para la compra del material para producción.

El modelo encontrado ofrece además un R^2 ajustado de 99,28%, que indica que la variabilidad del consumo, en litros por día, de combustible queda explicada en un 99,28% por las variables "cantidad de prendas lavadas en un día" y "horas de funcionamiento de la caldera en un día".

generador de vapor, resulta ser útil tanto para la Planificación de Recursos Empresariales de la organización como para la Estimación de Costos basados en el Plan de Producción, y el Costeo para la determinación de los Costos de una Orden

de Producción y evaluación de éstos con relación al Precio de Venta del Servicio de Lavandería.

Es útil para las industrias de este tipo saber que pueden hacer estimación de consumo de combustible considerando solo las variables "cantidad de prendas lavadas" y "horas de funcionamiento de la caldera", y mejor aún tener conocimiento de los valores de sus coeficientes en el modelo. En este caso, conocer que $\beta_1=0,03007$ litros/(prenda lavada) implica poder estimar la cantidad total de litros de combustible a consumir en un Plan y Programa de Producción, así como cargar un costo indirecto de producción a una orden en función de la cantidad de prendas procesadas en el lavado.

El otro término del modelo, y no menos útil, está asociado con la cantidad de horas

que se tiene en funcionamiento la Caldera. El coeficiente de este término, en este caso $\beta_3=22,77615$ litros/hora da información sobre rendimiento y eficiencia del equipo, y permite inclusive comparar el equipo generador de vapor con equipos de la misma característica de la empresa o con otros equipos ubicados en empresas del mismo ramo.

Otro aspecto de interés, y que se logra cuantificar con el modelo, es la cantidad de litros promedio diario que se consumen en el proceso para determinados niveles de producción y operaciones, lo que permite a los planificadores tanto de operaciones como financieros garantizar el suministro de este material indirecto para el proceso de producción.

REFERENCIAS

Astorga, J. (2014). Aplicación de modelos de regresión lineal para determinar las armónicas de tensión y corriente. *Ingeniería Energética*, 35(3), 234-241.

<https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/408/426>

Aymerich, À. & Albarracín, L. (2022). Modelización matemática en actividades estadísticas: Episodios clave para la generación de modelos. *Uniciencia*, 36 (1), 1-16.

<https://dx.doi.org/10.15359/ru.36-1.16>

Crespo, G., Monteagudo, J., Montesino, M., Cruz, I. & Cabrera, J. (2018). La Gestión Energética en la Fabricación de Piensos Balanceados en Cienfuegos. *Revista Científica de la Universidad de Cienfuegos*, 11(1), 249-256.

<https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/1114>

Guardela, L. (2020). Evolución de la política de cambio climático en Colombia. *Vniversitas*, 69, 1-17.

<https://doi.org/10.11144/Javeriana.vj69.epcc>

Lago, C. (2007). Aplicación de la regresión lineal en el estudio del impacto del cambio de entrenador sobre el rendimiento en el fútbol. *Motricidad. Revista Europea del Movimiento Humano*, 19, 145-163.

<https://www.eurjhm.com/index.php/eurjhm/article/view/192/356>

Mendenhall, W.; Beaver, R. & Beaver, B. (2023). *Introducción a la probabilidad y estadística*, 15a. edition. Cengage Learning.

- Montgomery, D. & Runger, G. (2020). *Applied Statistics and Probability for Engineers, 7th edition*. Wiley.
- Morantes-Quintana, G.; Rincón-Polo, G. & Pérez-Santodomingo, N. (2019). Modelo de regresión lineal múltiple para estimar concentración de PM1. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35 (1), 179-194. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.01.13>
- Naranjo, L.; López, A.; Rincón, J.; González, L. (2021). Identificación de un modelo lineal adecuado para evaluar características predestete en ganado criollo colombiano Blanco Orejinegro. *Scientia Et Technica*, 26(1), 49-56. <https://doi.org/10.22517/23447214.24301>
- Palominos-Rizzo, T.; Villatoro-Sánchez, M.; Alvarado-Hernández, A.; Cortés-Granados, V.; Paguada-Pérez, D. (2022). Estimación de la humedad del suelo mediante regresiones lineales múltiples en Llano Brenes, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2), 47872. <https://doi.org/10.15517/am.v33i2.47872>
- Pico, J.; Soria, J.; Gutierrez, E.; Arzola, J. (2019). Modelado por técnicas de regresión de los parámetros energéticos de desempeño para gasificadores tipo downdraft. *Ingeniería Energética*, 40(2), 138-147. <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/563>
- Puente, N.; Torres, L. & Sánchez, J. (2015). Modelado computacional usando regresión lineal y simbólica a B para determinar ópticamente el tamaño del poro de la piel. *Nova Scientia*, 7 (14), 218-235. <https://doi.org/10.21640/ns.v7i14.136>
- Rodríguez-López, Y., Sosa-Cueto, S., & García-Gallardo, AJ (2023). Metodología para la determinación del costo energético en trabajos de preparación de suelos. *Revista Ingeniería Agrícola*, 13 (3), 42-47. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586275623007/html/>
- Salaet, S., & Roca, J. (2010). Agotamiento de los combustibles fósiles y emisiones de CO₂: algunos posibles escenarios futuros de emisiones. *Revista Galega de Economía*, 19(1), 1-19. https://www.usc.es/econo/RGE/Vol19_1/castelan/art1c.pdf
- Torres, C.; Callegari, N.; Jara, H. (2021). Modelos de regresión y diseño de línea base para indicadores energéticos en una empresa siderúrgica. *Ingeniería Energética*, 42(1), e2801. <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/606>
- Valencia, O., Olivar, G., Redondo, J. (2019). Metodología para el Modelado de algunos Aspectos Asociados a la Sostenibilidad Empresarial y su Aplicación en una Empresa Manufacturera. *Información tecnológica*, 30(4), 103-126. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000400103>

Autor

Eduardo Vargas Cano. Ingeniero Industrial, Magister en Gerencia de la Construcción; Docente e Investigador, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1293-1550>

Email: eevargas1@uc.edu.ve

Recibido: 20-07-2023

Aceptado: 26-12-2023

Redes neuronales artificiales como sistema de soporte al proceso de toma de decisiones estratégicas: un caso de estudio

Artificial neural networks as a support system to the strategy decision making process: a case study

Luciana Tabone, Verónica Mortara

<https://doi.org/10.54139/riiant.v8i31.595>

Palabras clave: redes neuronales artificiales, toma de decisiones, pronóstico, gestión estratégica

Key words: artificial neural networks, decision making, forecasting, strategic management

RESUMEN

La aplicación de sistemas de inteligencia artificial en la toma de decisiones estratégicas permite analizar conjuntos de datos de considerable magnitud, y cuando se combina con su destreza para crear modelos predictivos fundamentados, propician toma de decisiones más precisas y exhaustivas. El objetivo de este trabajo es diseñar una red neuronal artificial de predicción de la demanda como apoyo a la gestión estratégica en una organización de salud argentina. Se adopta una metodología de tipo cuantitativa, utilizando el lenguaje de programación R para modelar y analizar las redes neuronales propuestas. Se diseñan doce redes neuronales de tipo perceptrón multicapa con un aprendizaje de retropropagación elástica del error, variando su arquitectura en función del número de capas y neuronas empleadas. Se llevan a cabo los entrenamientos pertinentes y se eligen las cuatro redes con el menor error en la predicción, validadas posteriormente. Finalmente, se selecciona como mejor red a aquella que proporciona el pronóstico más certero en función del grado de correlación. La red seleccionada alcanza una correlación del 90,54%, convirtiéndose en un sólido modelo de predicción de la demanda de tratamientos para la organización.

ABSTRACT

The application of artificial intelligence systems in strategic decision making allows the analysis of data sets of considerable magnitude, and when combined with their ability to create informed predictive models, they lead to more precise and comprehensive decision making. The objective of this work is the design of an artificial neural network for demand prediction to support the strategic management process in an Argentine health organization. A quantitative methodology is adopted, using the R programming language to model and analyze the proposed neural networks. Twelve multilayer perceptron-type neural networks are designed with elastic error backpropagation learning, varying their architecture depending on the number of layers and neurons used. The relevant training is carried out and the six networks with the lowest prediction error are chosen, which are subsequently subjected to a validation process. Finally, the one that provides the most accurate forecast based on the degree of correlation is selected as the best network. The selected network has reached a correlation of 90.54%, becoming a solid model for predicting the demand for treatments for the organization.

INTRODUCCIÓN

En la gestión estratégica empresarial resulta ineludible el reconocimiento del proceso de planificación como clave para lograr ventajas competitivas sostenibles en el marco de un entorno globalizado. Para sistematizar y reducir los niveles de riesgo e incertidumbre en el proceso de toma de decisiones estratégicas resulta necesaria la implementación de herramientas que permitan enfrentar problemas y oportunidades. Estas decisiones facilitan una articulación coherente entre los recursos y capacidades organizacionales que garanticen el cumplimiento de los objetivos y la estrategia institucional, permitiendo un desarrollo continuo o ajustes satisfactorios en la planificación estratégica (Zambrano Plúa et al., 2021).

Una de las metas más relevantes de este proceso es predecir los sucesos futuros en base a los hechos ocurridos con anterioridad. En general, la planeación en una organización comienza con el pronóstico de la demanda, que es la información de entrada necesaria para poder conocer sus ventas futuras, los insumos, nivel de capacidad y recursos humanos que se requerirán para satisfacerla y para facilitar el manejo de sus finanzas. De esta manera, se evidencia la importancia de obtener pronósticos certeros y poder planificar, organizar, implementar y controlar logísticamente un conjunto procesos con menor riesgo e incertidumbre y de la forma más efectiva posible (Tabone et al., 2021).

Con el objetivo de que las decisiones tomadas generen el mayor impacto positivo potencial, es que se debe dar prioridad a los procesos críticos y a sus actividades claves para el agregado de valor (Lao León et. al, 2017). El problema de selección del mejor método de pronóstico de la demanda se presenta hoy en día en casi todas las empresas, ya sea de bienes o servicios, y es un aspecto que no se puede evadir en la planificación de la cadena de suministro. Los modelos convencionales utilizados para pronosticar son la regresión, análisis de series de tiempo, promedio móvil, suavizado exponencial, entre otros. En general, este tipo de análisis ha estado dominado por la utilización de métodos estadísticos lineales, sin embargo, cuando los datos presentan relaciones no lineales su aplicación se ha visto limitada (Anderson et al., 2020; Santana, 2006; Zhang et. al, 1998).

Como métodos alternativos a los problemas de predicción, en las últimas décadas se ha aplicado redes neuronales artificiales (RNA). Las RNA son un modelo de un algoritmo computacional inspirado en las redes neuronales biológicas, que tiene la habilidad para aprender y generalizar, permitiendo reconocer patrones, predecir comportamientos y tomar decisiones (Sarmiento-Ramos, 2020; Lazo Chuquiwayta, 2019). Particularmente, las RNA tienen la capacidad de aproximar cualquier función continua o no lineal con una precisión deseada (Menacho Chiok, 2014).

Estudios comparativos de los métodos estadísticos clásicos aplicados al análisis de las series de tiempo con los modelos de RNA han demostrado que estos últimos facilitan la identificación y pronóstico de los patrones de comportamiento en las series, tales como: tendencia, ciclos y estacionalidades, pero también irregularidades como cambios estructurales, datos atípicos, etc. Asimismo, los pronósticos por RNA resultan ser más precisos y con menores medidas de error en la predicción en comparación con los métodos estadísticos clásicos (Menacho Chiok, 2014; Santana, 2006).

La principal fortaleza de las RNA radica en su enfoque libre de suposiciones previas acerca de la relación funcional entre la serie y sus variables explicativas. Gracias a su capacidad de generalización altamente desarrollada, estas redes pueden capturar patrones complejos y extrapolarlos, resultando en pronósticos más precisos. En el contexto de la predicción de series temporales, las RNA se abordan en general como un problema de minimización del error, esto implica ajustar sus parámetros para reducir al mínimo la discrepancia entre los valores reales y las salidas predichas. El creciente interés en la aplicación de redes neuronales en la predicción de series temporales ha

impulsado una intensa actividad investigativa en este campo, evidenciado por el elevado volumen de publicaciones en las que aplican las redes neuronales para el pronóstico de series de tiempo (Fogno Fotso et al., 2020; Soui et al., 2020; Sánchez Sánchez, 2012; Crone y Kourentzes, 2009). El objetivo de este trabajo es el diseño de una RNA capaz de predecir la demanda en una organización de salud mental de la ciudad de Mar del Plata, Argentina. Esta institución brinda un servicio especializado con dos modalidades de tratamiento: hospital de día y de medio día. El proceso de servicio varía según las modalidades y su duración oscila entre 2 a 3 años, conforme a la evolución de cada paciente. Es un tratamiento cubierto por obras sociales, prepagas o servicios de salud que posea cada paciente o en forma particular. Las decisiones estratégicas son tomadas por la Gerencia, que pretende lograr que la organización funcione sistémicamente en pos de sus objetivos estratégicos, en búsqueda de la mejora de la eficiencia y calidad del servicio. Actualmente, utilizan herramientas de pronóstico informales con cálculos manuales en base a datos históricos que presentan relaciones no lineales. Con la aplicación de RNA se pretende contribuir a la obtención de pronósticos más certeros, mejorando el nivel de servicio y su gestión estratégica.

METODOLOGÍA

Para la predicción de la demanda de la organización en estudio se adopta una metodología de tipo cuantitativa de

carácter empírico ya que se analiza un fenómeno contemporáneo dentro de su entorno. Los pasos a seguir para su desarrollo son:

1.- *Recopilación, procesamiento y normalización de datos históricos de la demanda de las distintas modalidades de tratamiento.*

2.- *Diseño de la RNA base.*

3.- *Entrenamiento de las diferentes arquitecturas de la RNA propuestas.*

4.- *Determinación de las RNA con menor error de predicción.*

5.- *Validación de las RNA seleccionadas en el paso anterior.*

6.- *Selección de la mejor RNA en base a su capacidad de predicción.*

Para el diseño y análisis de la RNA se emplea el lenguaje de programación R mediante la aplicación RStudio. Los paquetes utilizados son neuralnet, nnet, NeuralNetTools, plyr, readxl, psych y kableExtra (Anaconda, 2021; Velásquez et al., 2011).

La información necesaria se obtiene a partir de una base de datos suministrados por la organización que contiene la demanda de las distintas modalidades de tratamientos ofrecidas desde el año 2015 hasta mediados de 2022. Para su posterior procesamiento, se realiza una normalización de los datos obtenidos. De la muestra total de 120 observaciones se generan las muestras de entrenamiento y validación de 104 y 16 observaciones respectivamente.

Se construye una RNA base con una arquitectura multicapa, particularmente el Perceptrón Multicapas, compuesta por una capa de entrada, al menos una capa intermedia y una capa de salida. Este tipo de red ha demostrado ser un aproximador universal de funciones con una baja dificultad de uso y aplicación. Posee una elevada capacidad de generalización y

robustez y se ha convertido en el tipo de RNA de mayor aplicación para el cálculo de pronósticos (Lao León et al., 2017).

El algoritmo de aprendizaje más utilizado en este tipo de redes es el de retropropagación del error, tratando de minimizar la función del error entre la entrada y salida deseada y la del modelo neuronal a partir de un conjunto de observaciones ya clasificadas (Zambrano Matamala et al., 2011). Sin embargo, presenta ciertas desventajas, como son la lentitud de convergencia, el sobre aprendizaje y no garantiza el mínimo global de la función de error, tan solo un mínimo local (Riedmiller, 1994; Marcano Cedeño, 2010; Polo et. al, 2015).

En el presente trabajo se selecciona una variante que evita estos inconvenientes que es el algoritmo de retropropagación elástica, basado en un gradiente más adecuado para entrenar la RNA y considerado como uno de los más robustos para la estimación de sus parámetros. Este algoritmo trata de encontrar los valores de los parámetros tal que se minimicen las diferencias entre los valores deseados y los valores calculados por la red (Polo et al., 2015).

Las variables de entrada seleccionadas para el modelo propuesto son aquellas que influyen en el comportamiento de la demanda de este servicio. Estas variables son modalidad de tratamiento, mes de ingreso y tipo de cobertura. En la Tabla 1 se muestran sus categorías y codificación. La variable de salida de la red es la cantidad demandada de tratamientos.

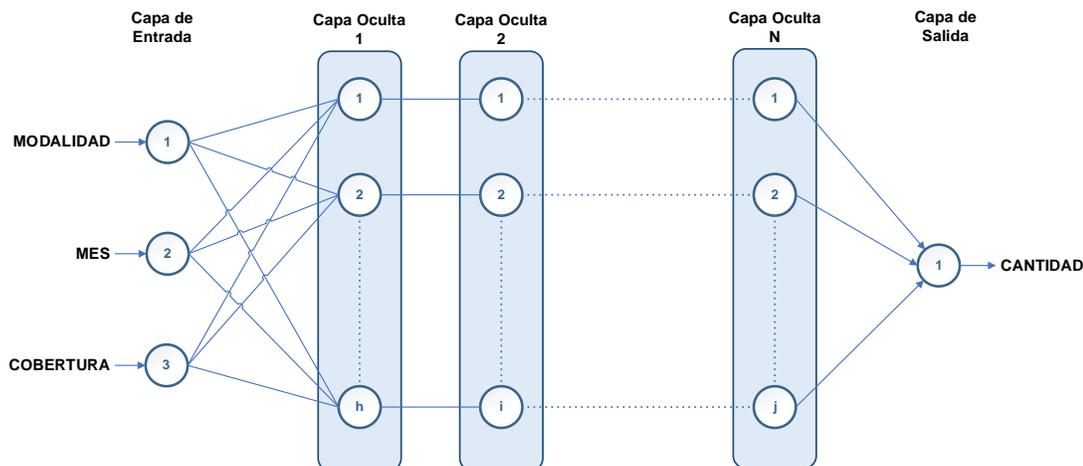
Tabla 1. Variables de entrada de la RNA

VARIABLES DE ENTRADA	CATEGORÍAS	CODIFICACIÓN
Modalidad de tratamiento	Hospital de medio día	0
	Hospital de día	1
Mes de ingreso	Enero a Diciembre	1 a 12
Tipo de Cobertura	Con cobertura	0
	Sin cobertura	1

En la Figura 1 se presenta la arquitectura de la RNA base. Como puede observarse, la capa de entrada posee 3 neuronas que corresponden a cada variable de entrada,

mientras que la capa de salida tiene una única neurona que representa a la variable de salida.

Figura 1. Arquitectura base de la RNA



Mediante el método de prueba y error se hallan los valores más adecuados del número de capas ocultas y número de neuronas por cada capa, planteando un conjunto de variaciones posibles de la arquitectura base de la RNA. Se realizan los entrenamientos correspondientes y se seleccionan aquellas que reporten el menor error de predicción, utilizando con indicador el error cuadrático medio (ECM) como se muestra en la Ecuación 1.

$$ECM = \frac{1}{N} SSE \tag{1}$$

Donde:

N: número de muestras.

SSE: suma de los cuadrados del error.

Finalmente, se validan las RNA seleccionadas y se elige la que proporciona el pronóstico más certero en función del grado de correlación.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

El primer paso de la metodología propuesta consiste en el procesamiento de la información suministrada por la organización respecto a la demanda de tratamientos desde el año 2015 hasta el mes de junio de 2022. Se obtienen los datos relativos a las variables consideradas para las etapas de entrenamiento y validación de las RNA y luego se procede a su normalización.

Seguidamente, se desarrolla en el entorno R la configuración de doce variaciones posibles de la RNA base mediante el método de prueba y error. A modo de ejemplo, se muestra el comando del pronosticador de la RNA1 y el detalle de su arquitectura:

- Comando:

```
RNA_1<-          neuralnet(CANTIDAD~
  MODALIDAD + MES + COBERTURA , data
  = RNA_train, hidden = (4), threshold = 0.01,
```

```
stepmax = 1e+05, rep = 100, startweights =
  NULL,          learningrate.limit = NULL,
  learningrate.factor = list(minus = 0.5, plus =
  1.2), learningrate = NULL, lifesign = "none",
  lifesign.step = 1000, algorithm = "rprop+",
  err.fct = "sse", act.fct = "logistic", linear.output
  = TRUE, exclude = NULL, constant.weights =
  NULL, likelihood = FALSE)
```

- Función de aprendizaje: rprop+ (retropropagación elástica del error)
- Número de réplicas: 100
- Función de Activación: logistic (logística)
- Factor de error: sse (suma de los errores al cuadrado)
- Número de capas: 3 (1 de entrada, 1 ocultas y 1 de salida)
- Número de neuronas por capa: 3 neuronas en la capa de entrada, 4 neuronas en la capa oculta y 1 neurona en la capa de salida.

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos a partir del entrenamiento de las configuraciones propuestas de redes.

Tabla 2. Resultados de la etapa de entrenamiento

RNA	Capas ocultas				Pasos	SSE	ECM
	1	2	3	4			
1	4	0	0	0	545	0,836187	0,008040
2	1	4	0	0	62	0,862402	0,008292
3	1	8	0	0	403	0,855638	0,008227
4	1	4	4	0	1000	0,850663	0,008179
5	4	4	4	0	79	0,847271	0,008147
6	4	4	8	0	147	0,841996	0,008096
7	1	8	1	0	356	0,856892	0,008239
8	1	8	4	0	505	0,849835	0,008171
9	1	4	4	1	546	0,861351	0,008282
10	1	4	4	4	218	0,86579	0,008325
11	1	4	4	8	312	0,859823	0,008268
12	4	4	8	1	204	0,838236	0,008060

Del análisis de los resultados obtenidos se seleccionan cuatro configuraciones correspondientes al menor error de predicción (menor ECM), que son: RNA1, RNA5, RNA6 y RNA12.

Se realiza el proceso de validación para las redes seleccionadas y se determina para cada una su capacidad de predicción. Se considera como la mejor red a aquella que presente el mayor grado de correlación según se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la etapa de validación

RNA	Capas ocultas				Pasos	SSE	ECM	Coeficiente de Correlación
	1	2	3	4				
1	4	0	0	0	545	0,836187	0,008040	0,9053792
5	4	4	4	0	79	0,847271	0,008147	0,8991035
6	4	4	8	0	147	0,841996	0,008096	0,9027653
12	4	4	8	1	204	0,838236	0,008060	0,9021329

De esta manera, la mejor red es la RNA1 compuesta por 3 capas: 1 capa de entrada, 1 capa oculta y una capa de salida. La capa de entrada posee 3 neuronas, la capa ocultas 4 neuronas y la capa de salida 1 neurona. El EMC obtenido en la etapa de entrenamiento es de 0,008040 mientras que en la etapa de validación ha logrado predecir la demanda con un grado de correlación del 90,53792%.

Se puede observar que existe poca variación en los valores obtenidos de ECM para las redes consideradas en la etapa de entrenamiento, sin embargo, al momento de la validación, solamente se consideraron aquellas que alcanzaron los menores valores de este indicador.

Respecto a la selección final, la mejor red resulta ser la del menor ECM y logra obtener un resultado superior en su capacidad de predicción. Como se explica en los apartados anteriores, la capacidad de predicción es medida en términos del coeficiente de correlación entre los valores pronosticados por la red y la muestra de validación. Un coeficiente del orden del 90% indica una relación positiva fuerte entre las variables de estudio, alcanzando un coeficiente de regresión de 0,8197 lo que significa que el 82% de la variación es explicada mediante este modelo. De esta manera se puede inferir que la red RNA1 seleccionada es un buen modelo de predicción de la demanda de tratamientos para la organización.

CONCLUSIONES

El presente trabajo ha logrado diseñar una RNA para predecir la demanda de tratamientos de una organización de salud marplatense, cuya pertinencia fue

demostrada a través de una aplicación concreta.

Se analizaron doce alternativas de RNA diseñadas con una arquitectura de tipo Perceptrón Multicapa y un aprendizaje del tipo retro propagación elástica del error,

considerando las principales variables que influyen en la demanda de la organización. Las redes con menor ECM fueron aquellas con una arquitectura de 4 neuronas en la primera capa oculta, sin embargo, la adición de un mayor número de capas ocultas no mejoró su capacidad de predicción. Luego de un proceso de validación, se selecciona la mejor en función de su capacidad de predicción.

La RNA seleccionada ha permitido pronosticar la demanda con un grado de correlación mayor al 90%, alcanzando un desempeño apropiado para su utilización en el proceso de toma de decisiones estratégica de la organización bajo estudio. La utilización del lenguaje de programación R ha facilitado el tratamiento de los datos y posterior procesamiento.

Se concluye que la toma de decisiones basada en datos certeros sobre el comportamiento de la demanda representa una mejora significativa en los procesos de gestión de la organización. Esta metodología de pronóstico no solo aborda la problemática actual, sino que también proporciona las bases para una toma de decisiones más informada, efectiva y sistémica. La capacidad predictiva demostrada por la RNA facilitará la identificación de patrones complejos y no lineales en los datos históricos, ofreciendo información más precisa y detallada del

comportamiento de la demanda. Este enfoque no solo mejora la capacidad de respuesta a las necesidades de los clientes, sino que también optimiza la asignación de recursos, contribuyendo a una gestión estratégica efectiva de los procesos clave en la cadena de valor.

Se estima que la implementación de esta nueva metodología no solo resolverá los desafíos existentes en el proceso de pronóstico, sino que también posicionará a la organización en una ventaja estratégica, permitiéndole adaptarse de manera más eficiente a las dinámicas cambiantes del entorno. La adopción de la RNA no solo representa una solución a problemas específicos, sino que también propiciará un proceso de mejora continua y una búsqueda constante de la excelencia operativa en el contexto de la gestión estratégica de la organización, lo que se traduce en un aporte de valor sustancial para la organización y sus clientes.

Como trabajo futuro se propone continuar la investigación mediante estudios comparativos de estas metodologías frente a los métodos convencionales para pronosticar series de tiempo. Asimismo, se recomienda ensayar con otras topologías de redes neuronales y algoritmos de predicción.

REFERENCIAS

Anaconda, Inc. (2023). Anaconda Documentation: R language packages for Anaconda.

<https://docs.anaconda.com/anaconda/package/s/r-language-pkg-docs/>

- Anderson, D., Sweeney, D., Williams, T.; Camm, J., & Cochran, J. (2020). *Estadística para negocios y economía, 17a edición*. Cengage.
- Crone, S., & Kourentzes, N. (2009). Input-variable specification for Neural Networks - An analysis of forecasting low and high time series frequency. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*. Atlanta, USA. <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2009.5179046>
- Fogno Fotso, H. R., Kaze, C. & Kenmoé, G. (2020). Optimal Input Variables Disposition of Artificial Neural Networks Models for Enhancing Time Series Forecasting Accuracy. *Applied Artificial Intelligence*, 34(11), 792-815. <https://doi.org/10.1080/08839514.2020.1782003>
- Hornik, K., Stinchcombe, M., & White, H. (1989) Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural Networks*, 2(5), 359-366. [https://doi.org/10.1016/0893-6080\(89\)90020-8](https://doi.org/10.1016/0893-6080(89)90020-8)
- Lao León, Y., Rivas Méndez, A., Pérez Pravia, M., & Marrero Delgado, F. (2017) Procedimiento para el pronóstico de la demanda mediante redes neuronales artificiales. *Ciencias Holguin*, 23(1), 43-59. <http://www.ciencias.holguin.cu/index.php/cienciasholguin/article/view/995/0>
- Lazo Chuquiwayta, H. (2019). *Modelo de redes neuronales artificiales para el pronóstico del número de visitantes extranjeros a Machu Picchu en comparación con la metodología de Box y Jenkins* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio UNSAAC. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/4637>
- Marcano Cedeño, Alexis Enrique (2010). *Un modelo neuronal basado en la metaplasticidad para la clasificación de objetos en señales 1-d y 2-d* [Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo UPM. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.5125>
- Menacho Chiok, C. (2014). Modelos de regresión lineal con redes neuronales. *Anales Científicos*, 75(2), 253-260. <https://doi.org/10.21704/ac.v75i2.961>
- Polo, D., Caballero, L., & Gómez, E. (2015) Comparación de redes neuronales aplicadas a la predicción de series de tiempo. *Prospectiva*, 13(2), 88-95. <https://doi.org/10.15665/rp.v13i2.491>
- Riedmiller, M. (1994) Advanced supervised learning in multi-layer perceptrons - from backpropagation to adaptive learning algorithms. *Computer Standards & Interfaces*, 16(3), 265-278. [https://doi.org/10.1016/0920-5489\(94\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0920-5489(94)90017-5)
- Sánchez Sánchez, P. A. (2012). *Una nueva metodología de entrenamiento de redes neuronales y sus implicaciones en la selección de modelos* [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9818>
- Santana, J. C. (2006). Predicción de series temporales con redes neuronales: una aplicación a la inflación colombiana. *Revista Colombiana de Estadística*, 29(1), 77-92. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/40269>
- Sarmiento-Ramos, J. L. (2020). Aplicaciones de las redes neuronales y el deep learning a la ingeniería biomédica. *Revista UIS Ing.*, 19(4), 1-18. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n4-2020001>
- Soui, M., Smiti, S., Mkaouer, M.W., & Ejbali, R. (2020). Bankruptcy Prediction Using Stacked Auto-Encoders. *Applied Artificial Intelligence*, 34(1), 80-100. <https://doi.org/10.1080/08839514.2019.1691849>
- Tabone, L., Mortara, V., Zanfrillo, A. & Morcela, A. (2021). Diseño de redes neuronales artificiales para la predicción de la demanda de productos farmacéuticos. *Proceedings XV*

- EnIDI. Mendoza, Argentina. https://enidi.org.ar/?page_id=17
- Velásquez, J.; Zambrano, C. & Vélez, L. (2011). ARNN: un paquete para la predicción de series de tiempo usando redes neuronales autorregresivas. *Revista Avances en Sistemas e Informática*, 8(2), 177-181. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/avances/article/view/26744>
- Zambrano Plúa, I. E., Quindemil Torrijo, E. M., & Rumbaut León, F. (2021). Gestión documental en universidades: Una mirada desde Latinoamérica. *Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales*, 6, 108-119.
- <https://doi.org/10.33936/rehuso.v6iEspecial.3779>
- Zambrano Matamala, C., Rojas Díaz, D., Carvajal Cuello, K., & Acuña Leiva, G. (2011). Análisis de rendimiento académico estudiantil usando data warehouse y redes neuronales. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 19(3), 369–381. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052011000300007>
- Zhang, P., Patuwo, E., & Hu, M. (1998). Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. *International Journal of Forecasting*, 14(1), 35–62. [https://doi.org/10.1016/S0169-2070\(97\)00044-7](https://doi.org/10.1016/S0169-2070(97)00044-7)

Autoras

Luciana Belén Tabone. Ingeniera Industrial y Especialista en Gestión de la Tecnología y la Innovación, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. Docente e investigadora del Dto. de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3755-5336>

Email: ltabone@fi.mdp.edu.ar

Verónica Aída Mortara. Ingeniera Electricista y Especialista en Administración de Negocios, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. Docente e investigadora del Dto. de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2387-2963>

Email: vmortara@fi.mdp.edu.ar

Recibido: 17-08-2023

Aceptado: 06-12-2023

Evolución del liderazgo y la innovación tecnológica: análisis bibliométrico

Evolution of leadership and technological innovation: bibliometric analysis

Ana Castillo Torres, Myrna Lezama León, Evangelina Lezama León

<https://doi.org/10.54139/riiant.v8i31.596>

Palabras clave: liderazgo, innovación tecnológica, gestión de la innovación

Key words: leadership, technological innovation, innovation management

RESUMEN

La innovación tecnológica es sin duda un tema de interés en cualquier ámbito de generación. Al mismo tiempo es importante entender los grandes impulsores de dicho tema, por lo que este trabajo tiene como propósito conocer la evolución y relevancia a lo largo del tiempo acerca del estudio de la relación del liderazgo con la innovación tecnológica, a través de un análisis bibliométrico, utilizando para éste fin bases de datos extraídas de publicaciones de Scopus. Así mismo, se analizaron en especial los últimos cinco años en lo que se refiere a documentos más citados y tópicos más utilizados en las distintas publicaciones, se siguió el método de estudios bibliométricos en gestión y organización. Se encontraron 1,416 documentos, entre los hallazgos más relevantes se destaca que este tema a través del tiempo ha ido en aumento principalmente en países como Estados Unidos, Reino Unido y China. También se encontró que la transformación digital, industria 4.0 e inteligencia artificial son los tópicos relacionados con más presencia en 2022. De igual forma los artículos más populares se centran en el papel del liderazgo y la innovación tecnológica como una parte estratégica y después del tema estratégico surge la atención hacia el trabajo colaborativo.

ABSTRACT

Technological innovation is undoubtedly a topic of interest in any field of generation. At the same time, it is important to understand the main drivers of said topic, for example. The purpose of this work is to know the evolution and relevance over time of the study of the relationship between leadership and technological innovation, through a bibliometric analysis, using for this purpose databases extracted from Scopus publications. Likewise, the last five years were especially analyzed in terms of the most cited documents and most used topics in the different publications, the method of bibliometric studies in management and organization was followed. 1,416 documents were found, among the most relevant findings it stands out that this topic has been increasing over time mainly in countries such as the United States, the United Kingdom and China. It was also found that digital transformation, industry 4.0 and artificial intelligence are the topics related to the most presence in 2022. Likewise, the most popular articles focus on the role of leadership and technological innovation as a strategic part and after the strategic topic. Attention to collaborative work arises.

INTRODUCCIÓN

El análisis de la innovación tecnológica en el mundo es un tema complejo y en constante evolución, ya que abarca una amplia gama de industrias, sectores y avances tecnológicos, con ello también el liderazgo en las organizaciones juega un papel crucial para afrontar dichos cambios. La innovación en sí misma es una base sustancial del desarrollo de la sociedad y forma parte del avance económico y social en un país, siendo según Ualzhanova (2020) la falta de tecnología una de las fundamentaciones del rezago en innovación y emprendimiento por no poder competir con otras regiones del mundo. Actualmente los avances tecnológicos son desarrollados cada vez con más rapidez, la etapa de pandemia y post pandemia debido al COVID-19 puso de manifiesto la necesidad de tecnología en casi todos los ámbitos, no sólo en el de la salud, sino que fue necesario cambiar procesos y medios tanto de comunicación como incluso de producción (Comisión Económica para Latinoamérica y el Caribe [CEPAL], 2021).

En este sentido la generación de patentes como un indicador de la innovación y producción tecnológica ha sido preocupante, ya que se reporta una desaceleración en la producción de Investigación y Desarrollo (I+D) en las tendencias mundiales, en aparente respuesta a la incertidumbre por la lenta recuperación económica tras la pandemia de COVID-19, las altas tasas de interés y los conflictos geopolíticos entre otras causas.

Al respecto del panorama mundial según el reporte del índice global de innovación (GII) 2022 emitido por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO) la tendencia de innovación se encuentra en mínimos históricos, los tres primeros lugares de este índice corresponden a: Suiza, Suecia y USA, mientras que en Latinoamérica los primeros lugares de la región fueron: Chile, Brasil y México, sin embargo, estos países se colocaron en los lugares 50, 54 y 58 de la clasificación mundial respectivamente, lo que deja de manifiesto las brechas que aún existen frente a las economías más desarrolladas (WIPO, 2022).

Con este antecedente, se encontró que por ejemplo la innovación mexicana según los últimos datos reportados por Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) en 2021 presentó una cifra de hasta 5, 271 solicitudes de patentes, siendo concedidas apenas 3,031. Por lo que, comparado con otros países no ha logrado desarrollar plenamente la Capacidad de Innovación Tecnológica (CIT), como también lo refleja el número de patentes obtenidas por empresas y/o investigadores mexicanos llegó solo al 3.1% del total (IMPI, 2021). Con esto en mente, se encuentran por ejemplo datos bibliométricos publicados por la Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT, 2021) que revelaron que México mantuvo un alto grado de dependencia tecnológica, dicha dependencia se obtiene al dividir el

número de solicitudes de patentes hechas en México por extranjeros entre el número de solicitudes realizadas por nacionales, el incremento en este indicador supone que mayor será la dependencia tecnológica y puede dar una idea de la medida en que un país depende de los inventos desarrollados fuera de él. Dicho indicador fue al alza desde 2013 hasta 2016 oscilando en 12 puntos y a pesar de haber bajado en 2018 a poco menos de 10, en los años subsecuentes fue incrementando gradualmente llegando a más de 13 en 2021.

Por otra parte, diversos autores como Ferrer (2018), Cantú et al. (2019), Estrada et al. (2019), González y Romero (2018) y Gómez et al. (2020), Kurzhals, Graf-Vlachyy König (2020), Makri, y Scandura (2010), Cantwell y Janne (1999), Oke et al. (2009) plantean la influencia y el impacto

que tiene el liderazgo sobre la innovación tecnológica ya que se trata de un proceso estratégico, incluyendo en el campo digital como es abordado por Warner y Wäger (2019), y Furr y Shipilov (2019). Sin embargo, no existen a la fecha estudios que actualicen el estado del arte de estos conceptos, por lo que este trabajo se plantea como objetivo conocer la evolución y relevancia a lo largo del tiempo acerca del estudio de la relación del liderazgo con la innovación tecnológica a través de un análisis bibliométrico, abordando su estudio en el tiempo, sus tendencias y evolución, dando una idea de cómo los diversos autores lo han enfocado hasta la actualidad, lo que permite identificar vacíos significativos de conocimiento de este.

METODOLOGÍA

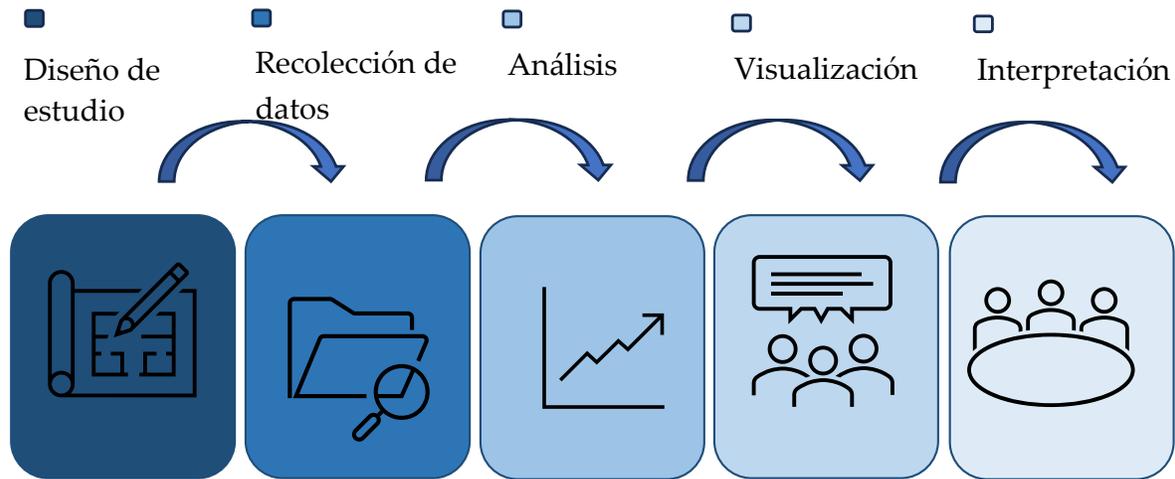
Para conseguir el objetivo, aumentar el rigor y mitigar el sesgo del investigador en las revisiones de la literatura científica se siguió el método de Zupic y Carter (2015) debido a que los autores introducen una medida de objetividad en la evaluación de la literatura científica, ya que se basaron en experiencias de investigadores de este campo, siguiendo el flujo de trabajo para realizar mapeos científicos al realizar estudios bibliométricos, lo cual le da al investigador la oportunidad de familiarizarse con el campo estudiado y

analizar tendencias con métodos cuantitativos, estableciendo conexiones y conclusiones al respecto, este método contempla 5 etapas: las cuales se presentan en la figura 1.

Diseño del estudio

Este trabajo comprende el análisis de tipo longitudinal de tendencia cuantitativa de publicaciones científicas publicadas en la plataforma Scopus comprendidas desde 1970 a julio de 2023. Se utilizó la búsqueda de palabras clave, título y resumen para ser analizadas

Figura 1. Método bibliométrico para la revisión sistemática de literatura

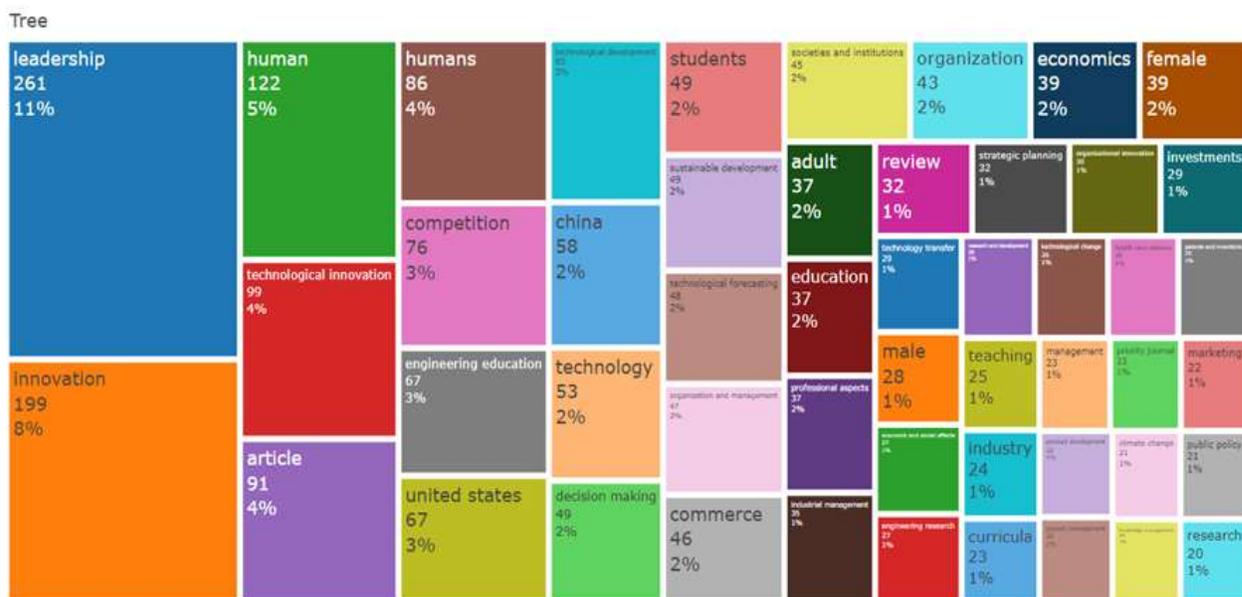


Recolección de datos

Primero, se tomaron los datos completos publicados en Scopus utilizando el Software Bibliometrix para su análisis, considerando la evolución de los conceptos, los estudios más citados, autores con más publicaciones sobre el tema, así como tendencias de publicaciones por país y ejes de evolución, utilizando

palabras clave: liderazgo e innovación tecnológica. Se consideraron también como segundo filtro otras palabras clave de los autores de los 1,416 documentos contemplados en este estudio como factores importantes dado que indican el contenido de los documentos que es más representativo de la relación del liderazgo y la innovación tecnológica, Ver Figura 2.

Figura 2. Palabras clave de autores de los documentos encontrados en Scopus



En esta se puede observar cómo los grandes temas después de liderazgo e innovación son; innovación tecnológica, humano, competitividad y educación.

Análisis de datos

Para el análisis fueron utilizadas métricas bibliométricas tales como aportación por áreas de conocimiento, evolución en la producción de documentos a través del tiempo, producción distribuida por país, producción y citas por autores, y se realiza un resumen de los autores más citados, sus aportaciones y metodologías utilizadas en los últimos cinco años. Se usaron reportes de Bibliometrix después de aplicar los filtros mencionados en la recolección de datos, así también utilizando Excel se realizaron gráficas con los datos cuantitativos de Scopus para visualizar el aporte por áreas de conocimiento.

Visualización

RESULTADOS

Considerando los resultados obtenidos mediante el software Bibliometrix, se puede observar que los países con más producción de estos temas, como se ve en la Figura 3, son: Estados Unidos en primer lugar, seguido por China y en tercer lugar Reino Unido. El interés de Estados Unidos ha ido en creciente aumento a partir de la década de 1990, sobresaliendo con una producción de casi el doble de China lo cual no es de sorprender siendo una potencia, sin embargo, éste último tuvo un repunte en la producción a partir del 2019, avanzando sobre Reino Unido, que hasta

En relación a la evolución de los estudios se realizó a través de la base de datos generada en Scopus el reporte por gráfica y tabla de Bibliométrix para destacar su comportamiento, en cuanto a las áreas de la ciencia y su producción se crearon gráficas utilizando Microsoft Excel con base en las tablas de filtrado y cantidad de documentos generadas en Scopus directamente, también se generaron los reportes gráficos de cantidad de documentos, países con más aportaciones, autores sobresalientes, y se elaboró con esta base la tabla de resumen de autores.

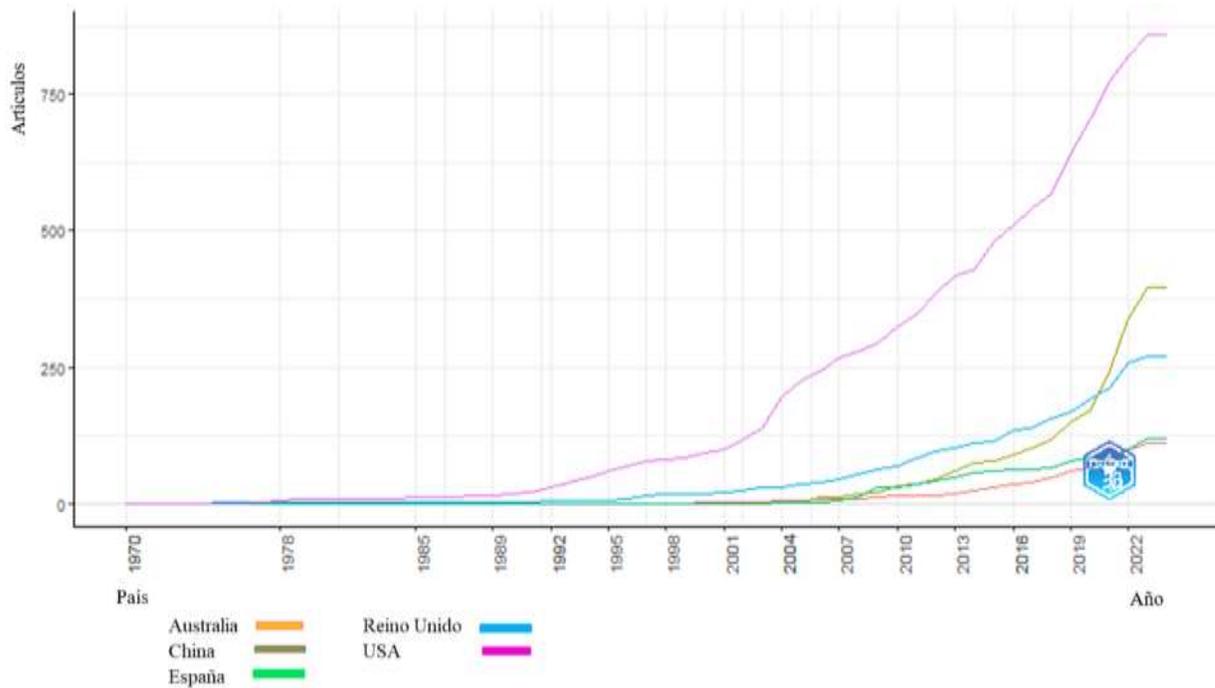
Interpretación

En esta etapa se describe cómo se analizaron e interpretaron los resultados de acuerdo con el objetivo y se generan las conclusiones, en las cuales se discuten las implicaciones y la importancia de estos.

ese momento había estado en segundo lugar de producción, lo que es de notar ya que China se ha posicionado entre los primeros 15 puestos del índice mundial de innovación (WIPO, 2023) lo que indica que progresa en su estrategia de desarrollo tecnológico (Colombo, 2019).

Se recopilaron de 994 fuentes durante el periodo de estudio un total de 1416 documentos que incluyen revistas, libros y otras colecciones por lo que se deduce con base en el volumen de documentos encontrados que la relación de innovación tecnológica y liderazgo ha sido objeto de considerables estudios desde 1970 a la fecha.

Figura 3. Producción científica por país a través del tiempo



En la Figura 4, se puede apreciar que, aunque su comportamiento se mantuvo sin muchos cambios abruptos desde el año inicial del periodo estudiado. En 2019 se produjo más de un 40% de producción comparado con el año 2018 en los estudios de estos conceptos, siendo el año en que mayor porcentaje de crecimiento se produjo.

Para 2020 se produjeron 100 documentos, representando una disminución del 4% comprensible debido a la pandemia de COVID-19, no obstante, en 2021 se vio recuperado un 24%, lo que coincide con lo reportado con RICYT (2021), puesto que Latinoamérica en conjunto tuvo hasta un 82% más de producción científica, comparado con el año anterior, superando los 200,000 artículos, esto posiblemente como respuesta a la situación de pandemia del 2020.

Aunque en 2022 la producción se incrementó, la aceleración de crecimiento se redujo en un 14%. Por lo que se puede observar en los dos últimos años completos del presente estudio, el interés en estos temas se ha mantenido al alza, lo que implica la vigencia de estas variables en la comunidad científica.

Como parte del análisis general de datos, se encontró que por áreas de la ciencia la cantidad de documentos publicados destacan entre otros: gestión de empresa y negocios con la mayor cantidad de publicaciones llegando a un 22.6%, siendo comprensible ya que el liderazgo se relaciona mayoritariamente con las áreas gerenciales o de negocios, le sigue el área de ciencias sociales 16.9%, aquí se encuentran estudios realizados sobre ética y procesos grupales e ingeniería con 12.8%, tema que se vincula expresamente con la

tecnología, luego en menor grado están los temas de economía, econometría y finanzas con 8.8%, informática 7.2%, bajando su

porcentaje de aportación a partir del área de salud y energía entre otros (Ver Fig. 5)

Figura 4. Producción científica anual

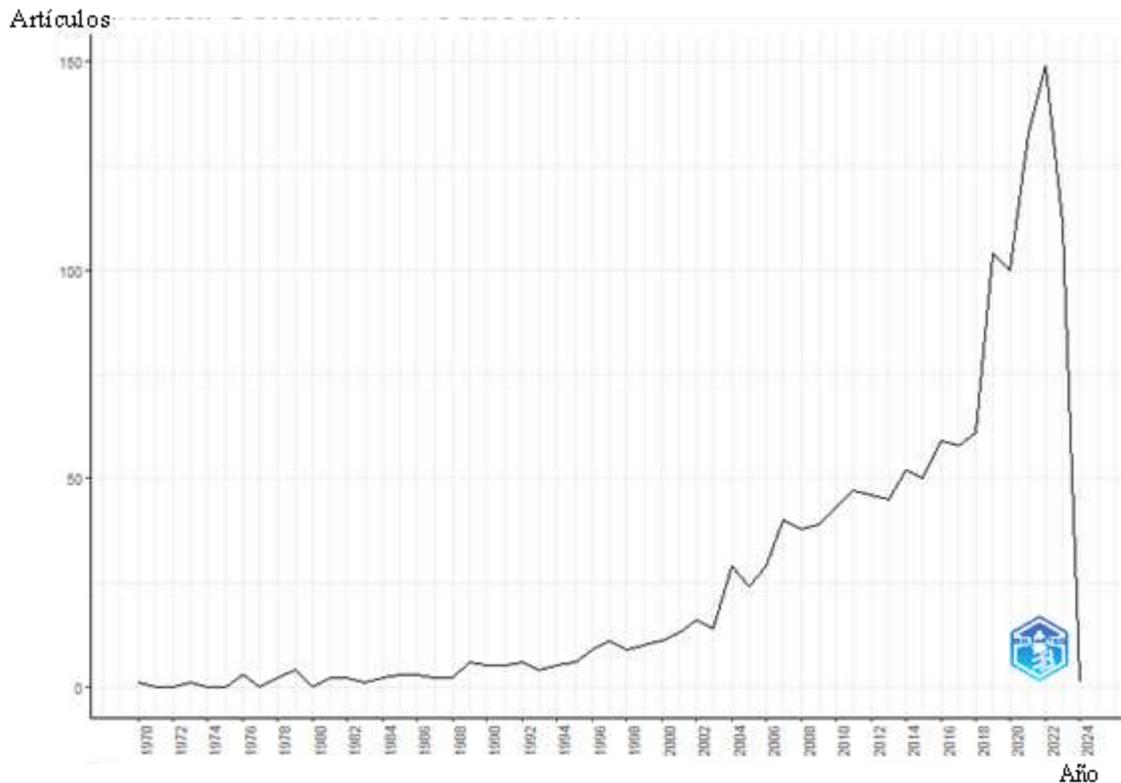
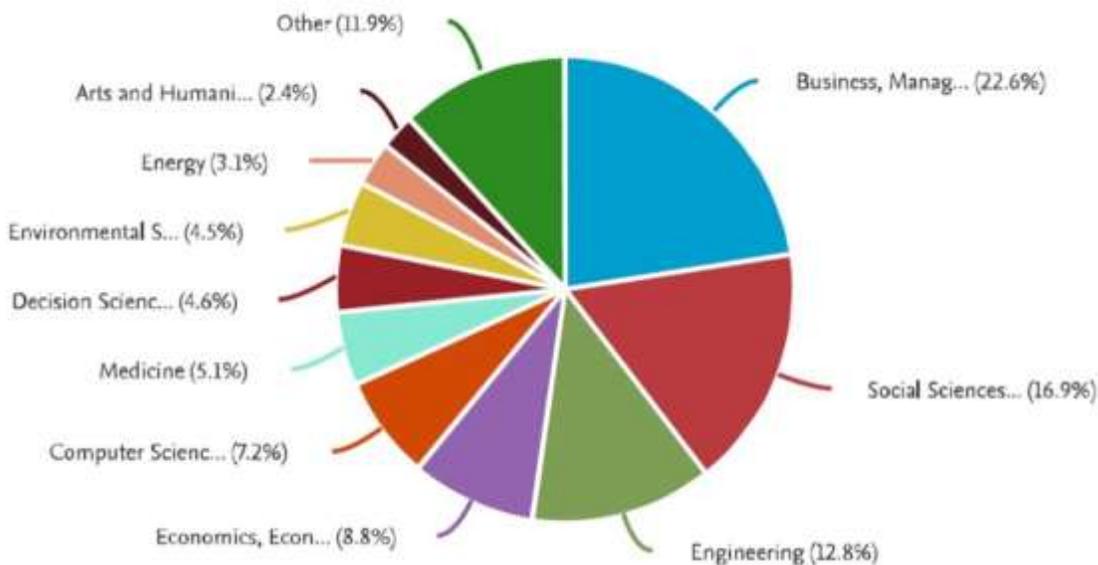


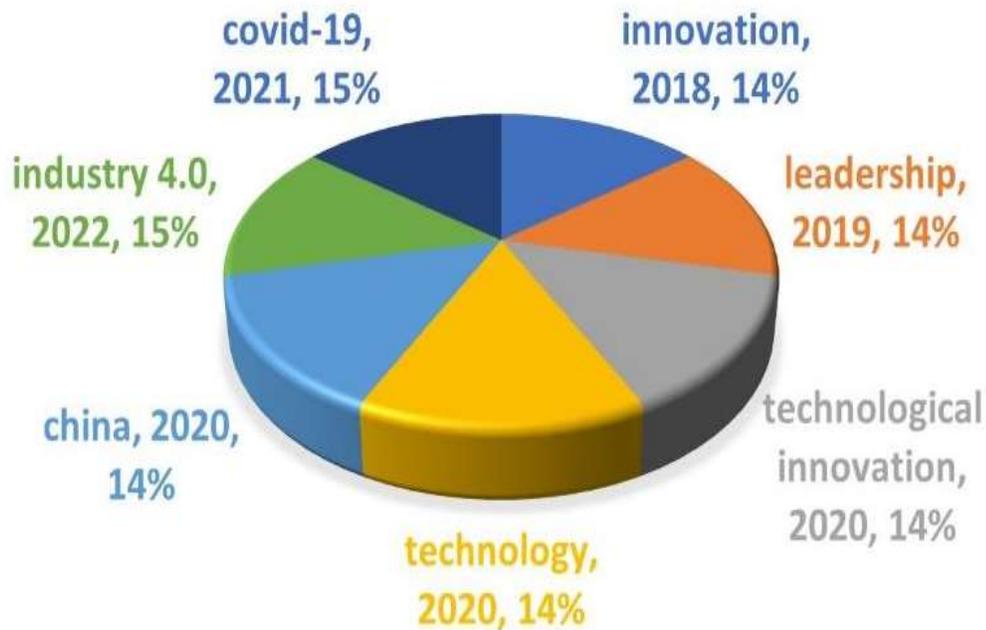
Figura 5. Aportación de producción por área de la ciencia



En el análisis de tendencias en tópicos relacionados con la búsqueda de los términos de innovación tecnológica y liderazgo, se observa en la Figura 6 aquellas que en los últimos cinco años han tenido como mínimo 50 y hasta 150 menciones y corresponden a la transformación digital, industria 4.0, inteligencia artificial con más presencia en 2022 y COVID-19 en 2021, esto se puede entender ya que en años recientes y a partir de la situación pandémica las necesidades de tecnología se pusieron de manifiesto para casi todos los sectores productivos y otros tales como la educación en todos los niveles. La innovación, fue

tópico en tendencia en 2018 con al menos 150 menciones, mientras que en 2019 fue liderazgo, 2020 se puso en tendencia innovación tecnológica ambas con hasta 100 menciones. Es de notar que China aparece en estas tendencias de 2020 sugiriendo que es un tema mencionado relacionado con la innovación tecnológica y el liderazgo y que en pleno año de pandemia por COVID-19 se instaló en dicha tendencia. Lo que es también congruente con los hallazgos mencionados sobre la producción científica de estos temas.

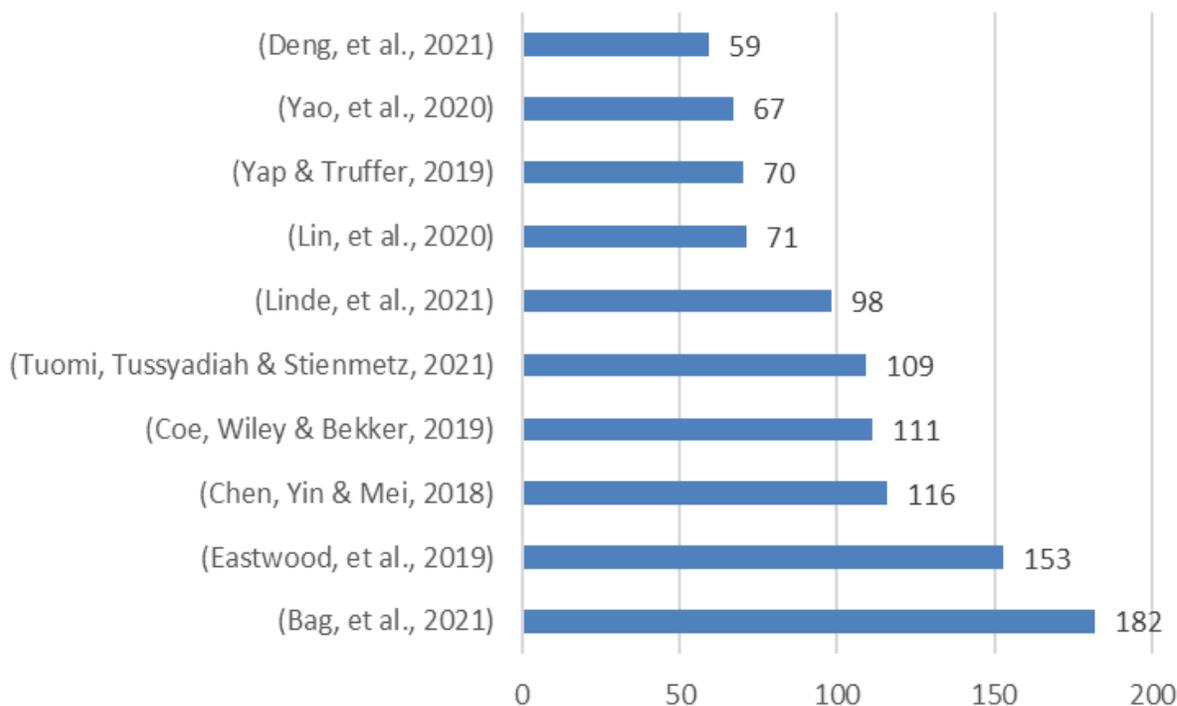
Figura 6. *Tópicos de tendencia sobre Innovación Tecnológica y Liderazgo*



Con la finalidad de actualizar las tendencias más influyentes de los últimos cinco años, en la Figura 7 se presentan los

10 documentos más citados en el ámbito del liderazgo y la innovación tecnológica.

Figura 7. Documentos más citados sobre Innovación Tecnológica y Liderazgo



Posteriormente se realiza el análisis de estos artículos más citados sobre innovación tecnológica y liderazgo, ver tabla 1, en donde pueden identificarse varias tendencias y temas importantes en la investigación actual en este ámbito. En primer lugar, es evidente que los artículos más populares se centran en el papel del liderazgo y la innovación tecnológica como una parte estratégica con diversos enfoques al tratar temas de ecosistemas, barreras y estrategias de inversión. Esto demuestra un gran interés por comprender estos tópicos y cómo afecta su relación con diversas áreas y circunstancias. Después de la estrategia surge la atención hacia el trabajo colaborativo de los entornos sociales e industriales entre otros, teniendo citas abundantes pero que se reducen a la mitad del grupo anterior.

Discusión

En este estudio se encontró una diversidad de documentos constituidos principalmente por 59% de artículos científicos, 18% de artículos de conferencia, 10.46% de capítulos de libro, siendo el resto de porcentaje compuesto por notas editoriales, libros, revisiones, encuestas cortas, entre otros. En la base de datos Scopus, que comprendió este estudio no se encontraron estudios similares que comprendan los temas de liderazgo e innovación tecnológica específicamente, incluso los términos 'liderazgo' e 'innovación' se encontraron de forma separada o en combinación con tipos concretos de ambos conceptos por lo que se puede decir que en este sentido la aportación es original hacia la actualización del conocimiento de la combinación de dichos conceptos que ayudan a entender su

evolución y tendencia, principales autores, países y áreas científicas del conocimiento, un posible acercamiento al tema es el realizado por Suominen et al.(2019); sin

embargo, en dicho estudio se trabajó para estructurar un marco conceptual de terminología sobre el ecosistema de la innovación concretamente.

Tabla 1. Metodología de autores más citados

Autor y año	Tema	Metodología
Bag et al. (2021)	Modelo teórico que vincula Industria 4.0 con producción sostenible y economía circular	Análisis factorial y la técnica PLS-SEM
Eastwood et al. (2019)	Investigación e innovación responsables (RRI) en la lechería inteligente de Nueva Zelanda	Estudio de Caso
Chen et al. (2018)	Nuevo paradigma de innovación	Revisión bibliométrica
Coe et al. (2019)	Prejuicios y barreras sistémicos en la ciencia y la medicina en la equidad de género	Revisión bibliométrica
Tuomi et al. (2021)	Robótica en los servicios del sector hotelero	Revisión bibliométrica
Linde et al. (2021)	Capacidades dinámicas para la innovación del ecosistema	Estudio múltiple de caso
Lin et al. (2020)	Liderazgo ético y su papel en la aplicación de la innovación tecnológica	Método generalizado del momento (GMM) de sistema de datos de panel dinámico
Yap y Truffer (2019)	Influencia en la direccionalidad de los sistemas de innovación	Estudio de caso
Yao et al. (2020)	Influencia del intercambio de conocimientos en la capacidad de innovación tecnológica (TIC) de las pymes de software	Ecuación estructural
Deng et al. (2021)	Dinamismo ambiental en la innovación del equipo emprendedor	Cuestionario

Yahaya et al. (2020) por otra parte, desarrollaron una investigación en la cual se enfocan en modelos de innovación de manera específica sin tocar concretamente el liderazgo; así también Sun (2020), estudió separadamente la innovación y la tecnología en China, no haciendo alusión

de manera concreta al liderazgo. Se encuentran también estudios como el de Kurzhals et al. (2020) en el cual su interés se centra en enfoque teóricos utilizados, en específico los constructos y medidas de innovación utilizadas en el estudio de estos temas.

CONCLUSIONES

En este estudio se han analizado publicaciones científicas sobre la innovación tecnológica y el liderazgo en diferentes contextos organizativos. El objetivo era conocer su evolución y relevancia a lo largo del tiempo. De lo cual se encontró que estos temas han ido en aumento especialmente en Estados Unidos, Reino Unido y China que últimamente ha demostrado un mayor interés y avance al grado de sobrepasar al Reino Unido. De igual forma se llevó a cabo la identificación de documentos destacados en este campo encontrando que los temas más citados se

relacionan con la industria 4.0 y temas de inteligencia artificial, Estos hallazgos pueden contribuir a una mayor comprensión de cómo abordar los desafíos que plantea la innovación en qué países se lleva la delantera y los ámbitos en donde está cobrando más fuerza. Además, se presentaron los enfoques metodológicos utilizados en la investigación. Los resultados del estudio aportaron sugerencias para futuras líneas de investigación como por ejemplo los intereses particulares de la innovación tecnológica y su relación con el liderazgo por áreas distintas de la ciencia.

REFERENCIAS

- Bag, S., Yadav, G., Dhamija, P., y Kataria, K. K. (2021). Key resources for industry 4.0 adoption and its effect on sustainable production and circular economy: An empirical study. *Journal of Cleaner Production*, 281, 125233. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125233>
- Cantú Munguía, I. A., Medina Lozano, A., y Martínez Marín, F. A. (2019). Semillero de investigación: Estrategia educativa para promover la innovación tecnológica. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 10(19). <http://dx.doi.org/10.23913/ride.v10i19.505>
- Cantwell, J., & Janne, O. (1999). Technological globalisation and innovative centres: the role of corporate technological leadership and locational hierarchy. *Research policy*, 28(2-3), 119-144. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(98\)00118-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(98)00118-8)
- Chen, J., Yin, X., & Mei, L. (2018). Holistic innovation: An emerging innovation paradigm. *International Journal of Innovation Studies*, 2(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ijis.2018.02.001>
- Coe, I. R., Wiley, R., & Bekker, L. G. (2019). Organisational best practices towards gender equality in science and medicine. *The Lancet*, 393(10171), 587-593. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)33188-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)33188-X)
- Colombo, S. (2019). *Panorama Político/Económico Nacional e Internacional Estancamiento Económico, Revolución Científico-Tecnológica y el Ascenso de la República Popular China Como Potencia Mundial en el Siglo XXI. 1a edición.* Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Derecho P.110.
- Comisión Económica para Latinoamérica y el Caribe CEPAL (2021). *Third meeting of the Conference on Science, Innovation and Information*

and Communications Technologies of the Economic Commission for Latin America and the Caribbean.

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/0c606866-8ba4-408e-8705-0bf33474fd01/content>

Deng, X., Guo, X., Wu, Y. J., & Chen, M. (2021). Perceived environmental dynamism promotes entrepreneurial team member's innovation: explanations based on the uncertainty reduction theory. *International journal of environmental research and public health*, 18(4), 2033. <https://doi.org/10.3390/ijerph18042033>

Eastwood, C., Klerkx, L., Ayre, M., & Dela Rue, B. (2019). Managing socio-ethical challenges in the development of smart farming: from a fragmented to a comprehensive approach for responsible research and innovation. *Journal of agricultural and environmental ethics*, 32(5-6), 741-768.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10806-017-9704-5>

Estrada, G. C. T., Montero, J. M. C., Hernández, Y. C. U., y Herrera, J. J. R. (2019). Innovación tecnológica: Reflexiones teóricas. *Revista Venezolana de Gerencia*, 24(85).

<https://www.redalyc.org/journal/290/29058864011/29058864011.pdf>

Ferrer Dávalos, R. M. (2018). El comportamiento organizacional y su relación en los procesos de innovación tecnológica. *Academo (Asunción)*, 5(2), 169-178.

<http://dx.doi.org/10.30545/academo.2018.jul-dic.9>

Furr, N., & Shipilov, A. (2019). Digital doesn't have to be disruptive: the best results can come from adaptation rather than reinvention. *Harvard Business Review*, 97(4), 94+.

<https://link.gale.com/apps/doc/A592569971/AONE?u=anon~2330c9ff&sid=googleScholar&xid=4f4aa71e>

Gómez Rodríguez, M. E., Villalba Morales, M. L., y Pérez Valencia, D. M. (2020). Análisis

comparativo de las capacidades de innovación tecnológica de la industria manufacturera colombiana, 2006-2014. Una revisión a partir de la metodología de clases latentes. *Innovar*, 30(77), 93-106.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-50512020000300093&script=sci_arttext

González, J., y Romero, Y. (2018). Innovación tecnológica en las empresas. *Observatorio de la economía Latinoamericana*, (marzo).

<https://www.eumed.net/rev/oel/2018/03/innovacion-empresas-ecuador.html>

Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), (2021).

<https://www.gob.mx/se/articulos/universidades-y-centros-de-investigacion-nacionales-que-registran-mas-patentes-en-mexico?idiom=es>

Kurzahls, C., Graf-Vlachy, L., & König, A. (2020). Strategic leadership and technological innovation: A comprehensive review and research agenda. *Corporate Governance: An International Review*, 28(6), 437-464.

<https://doi.org/10.1111/corg.12351>

Lin, W. L., Yip, N., Ho, J. A., & Sambasivan, M. (2020). The adoption of technological innovations in a B2B context and its impact on firm performance: An ethical leadership perspective. *Industrial Marketing Management*, 89, 61-71.

<https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2019.12.009>

Linde, L., Sjödin, D., Parida, V., & Wincent, J. (2021). Dynamic capabilities for ecosystem orchestration A capability-based framework for smart city innovation initiatives. *Technological Forecasting and Social Change*, 166, 120614.

<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120614>

Makri, M., & Scandura, T. A. (2010). Exploring the effects of creative CEO leadership on innovation in high-technology firms. *The*

- leadership quarterly*, 21(1), 75-88. <https://doi.org/10.1016/j.leaqua.2009.10.006>
- Oke, A., Munshi, N., & Walumbwa, F. O. (2009). The influence of leadership on innovation processes and activities. *Organizational Dynamics*, 38(1), 64-72. <https://doi.org/10.1016/j.orgdyn.2008.10.005>
- Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología. RICYT (2021) Dependency rate 2012-2021 http://app.ricyt.org/ui/v3/comparative.html?indicator=TDEP&start_year=2012&end_year=2021
- Suominen, A., Seppänen, M., & Dedehayir, O. (2019). A bibliometric review on innovation systems and ecosystems: a research agenda. *European Journal of Innovation Management*, 22(2), 335-360. <https://doi.org/10.1108/EJIM-12-2017-0188>
- Sun, Y. (2003). Geographic patterns of industrial innovation in China during the 1990s. *Tijdschrift voor economische en sociale geografie*, 94(3), 376-389. <https://doi.org/10.1111/1467-9663.00264>
- Tuomi, A., Tussyadiah, I. P., & Stienmetz, J. (2021). Applications and implications of service robots in hospitality. *Cornell Hospitality Quarterly*, 62(2), 232-247. <https://doi.org/10.1177/1938965520923>
- Ualzhanova, A, Zakirova, D, Tolymbek, A, Hernández García de Velazco, J & Chumaceiro Hernández, A. (2020). *Innovative-entrepreneurial universities in the postmodern world concept: possibilities of implementation.* <https://hdl.handle.net/11323/7192>
- Warner, K. S., & Wäger, M. (2019). Building dynamic capabilities for digital transformation: An ongoing process of strategic renewal. *Long range planning*, 52(3), 326-349. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2018.12.001>
- World Intellectual Property Organization (WIPO) (2022). *Índice Mundial de Innovación 2022. ¿Cuál es el futuro del crecimiento impulsado por la innovación?* Geneva, Switzerland: WIPO Publications. <https://tind.wipo.int/record/46596>
- World Intellectual Property Organization (WIPO) (2023). *Global Innovation Index 2023: Innovation in the face of uncertainty.* Geneva: WIPO. <https://doi.org/10.34667/tind.48220>
- Yahaya, I. S., Amat, A., Maryam, S., Khatib, S. F., & Sabo, A. U. (2020). Bibliometric analysis trend on business model innovation. *Journal of Critical Reviews*, 7(09), 2391-2407.
- Yao, J., Crupi, A., Di Minin, A., & Zhang, X. (2020). Knowledge sharing and technological innovation capabilities of Chinese software SMEs. *Journal of knowledge management*, 24(3), 607-634.
- Yap, X. S., & Truffer, B. (2019). Shaping selection environments for industrial catch-up and sustainability transitions: A systemic perspective on endogenizing windows of opportunity. *Research Policy*, 48(4), 1030-1047.
- Zupic, I., y Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429-472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>

Autoras

Ana Isabel Castillo Torres. Doctorado en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología, Universidad Popular Autónoma del estado de Puebla. Maestría en Calidad, Instituto de estudios superiores de Tamaulipas. Ingeniero Industrial, Tecnológico de Cd Madero. Profesor de asignatura "A" en academia de Ingeniería Industrial en Tecnológico Nacional de México Campus Comalcalco, Tabasco, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3732-360X>

Email: anaisabel.castillo@upaep.edu.mx

Myrna Hortencia Lezama León. Doctorado en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Pachuca. Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Pachuca. Profesora Investigadora en posgrado de Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Puebla, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8181-3705>

Email: myrnahortencia.lezama@upaep.mx

Evangelina Lezama León. Doctorado en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología. Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Maestría en Sistemas Computacionales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Licenciatura en Informática, Instituto Tecnológico de Pachuca. Profesora investigadora de Tiempo Completo en Licenciatura de Tecnologías de Información Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tizayuca, Hidalgo, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0818-0897>

Email: evangeli@uaeh.edu.mx

Recibido: 13-11-2023

Aceptado: 28-12-2023

Análisis del riesgo biomecánico en el personal de una empresa del sector energético de Colombia

Analysis of biomechanical risk in the personnel of a company in the energy sector in Colombia

Julián Silva Rodríguez, Angel Zipaquirá Vargas

<https://doi.org/10.54139/riant.v8i31.597>

Palabras clave: factores de riesgo, músculo esquelético, sector energético, riesgo biomecánico

Key words: risk factors, skeletal muscle, energy sector, bio mechanic risk

RESUMEN

Este artículo presenta una investigación realizada con el objetivo de determinar la prevalencia de los síntomas osteomusculares y factores de riesgo biomecánico en personal operativo y administrativo de una empresa de energía en Colombia. Se lleva a cabo un estudio de corte transversal aplicado a 160 trabajadores, donde se incluyeron variables sociodemográficas y las relacionadas con los síntomas osteomusculares y factores de riesgo biomecánicos. Los resultados demuestran una prevalencia del 80,3% para dolor lumbar en personal operativo mayor que en personal administrativo (72,2%). Igualmente se evidencia que los síntomas musculoesqueléticos tienen una dependencia de variables como sexo, presencia de síntomas de molestia o dolor lumbar, nivel de escolaridad con cuello, dolor de hombros y/o espalda dorsal y antigüedad en el cargo con presencia de síntomas en cuello. La población objeto de estudio presenta prevalencias altas de molestia o dolor en grupo axila, observándose mayores prevalencias en el personal operativo. El 67% del personal administrativo y el 75,8% del operativo mencionan que las molestias o dolores se han producido por las tareas del puesto de trabajo.

ABSTRACT

This paper presents a research carried out with the objective of determining the prevalence of musculoskeletal symptoms and biomechanical risk factors in operational and administrative personnel of an energy company in Colombia. A cross-sectional study was carried out on 160 workers, where sociodemographic variables and those related to musculoskeletal symptoms and biomechanical risk factors were included. The results demonstrate a prevalence of 80.3% for low back pain in operational personnel, greater than in administrative personnel (72.2%). It is also evident that musculoskeletal symptoms depend on variables such as sex, presence of symptoms of discomfort or low back pain, level of education with neck, shoulder and/or back pain and length of service with the presence of neck symptoms. The population under study presents high prevalences of discomfort or pain in the armpit group, with higher prevalences observed in operating personnel. 67% of the administrative staff and 75.8% of the operational staff mention that the discomfort or pain has been caused by the tasks of the job.

INTRODUCCIÓN

Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT) de las 2,34 millones de muertes anuales relacionadas con el trabajo, alrededor de 2,02 millones son causadas por enfermedades relacionadas con este. Además, cada año ocurren alrededor de 160 millones de casos de enfermedades profesionales no mortales. La OIT estima que los accidentes y las enfermedades profesionales causan la pérdida de cerca de 2.8 billones de dólares, en costos directos e indirectos de los accidentes y las enfermedades (OIT, 2021). En Estados Unidos, estudios como el de Peele et al. (2005) y Bhattacharya (2014), evidencian que las industrias con mayor prevalencia de trastornos musculoesqueléticos (TME) son las más afectadas en términos de productividad por los días perdidos debido a la ausencia de los empleados a raíz de estas afectaciones. Aunque según Bovea et al. (2013), las empresas están buscando estrategias que mejoren las condiciones de los trabajadores en su entorno laboral y así reducir los costos que se pueden derivar por la protección de los trabajadores. Así mismo, la OIT reporta que en Colombia para el 2023 hubo 7495.6 lesiones profesionales no fatales por cada 100.000 trabajadores (International Labor Organization, 2023). En el año 2023 en Colombia se encontraron afiliados al sistema de riesgos laborales 11.808.311 trabajadores, la tasa de enfermedad laboral calificada fue de 274.02 enfermos por cada

100.000 afiliados (Ministerio de Trabajo, 2023).

Estudios del Ministerio de Trabajo de Colombia y la Organización Iberoamericana de Seguridad Social (OISS) presentaron como riesgos ocupacionales prioritarios los riesgos biomecánicos y psicosociales, al año 2023 en las empresas prestadoras de salud EPS, el 66% de los reportes de enfermedad laboral fueron por lesiones musculo esqueléticas y las administradoras de riesgos laborales presentan un incremento del 42% en el reconocimiento de enfermedades de origen laboral con un componente derivado de los trastornos musculo-esqueléticos con un 88%. Además se reporta una prevalencia mayor en hombres que en mujeres, lo cual se encuentra asociado al tipo de oficios que desempeñan (Ministerio del Trabajo, 2023). La Asociación Colombiana de Estudio del Dolor (ACED) informa que el 64.5% de las causas de dolor estuvieron relacionados con el aparato osteomuscular (Guerrero Liñeiro & Gómez López, 2023).

En diversos entornos laborales se puede evidenciar la presencia de factores de riesgos biomecánicos ya sea por las condiciones de los puestos de trabajo y/o las actividades que producen posturas con cargas de trabajo físico excesivo, posiciones inadecuadas por flexión de tronco y mantenimiento de posturas por largos periodos de tiempo (Zhang & Lin, 2024 y Davies et al., 2023). Estudios indican que en el sector manufacturero y energético hay tareas que implican posturas que generan

alta prevalencia de desórdenes musculoesqueléticos en regiones de espalda, cuello, hombros y rodillas entre la población de personal operativo, y que se relacionan con la edad y la experiencia laboral (Noor et al., 2021 y Memarian et al., 2022).

El estudio realizado por Yang, et al. (2023), en una fábrica de montaje de aparatos electrónicos con 591 trabajadores, se evidenció la presencia de factores de riesgo biomecánico con una prevalencia de tenosinovitis de la estiloides radial del 13,03%, dedo en gatillo del 9,48%, síndrome del túnel carpiano del 8,12%, epicondilitis lateral del 3,38%, y la epicondilitis medial del 1,69%. Este estudio concluye que factores como alta fuerza, postura incómoda y puntos de presión en las muñecas se asocian con tenosinovitis de la estiloides radial. Se encontró asociación de trastornos musculoesqueléticos en miembros superiores con el tipo de trabajo, los trastornos se presentaron más comúnmente en trabajadores del departamento de ensamble. En el estudio de Nabi et al. (2021), se determinó una prevalencia del 85% de síntomas musculoesqueléticos asociados a factores sociodemográficos en operarios de una empresa metalúrgica. Estos síntomas se reportaron principalmente en la parte superior de la espalda, la zona lumbar y la muñeca.

En el sector energético en Venezuela se reportan prevalencias del 97% de trastornos musculoesqueléticos en personal liniero (Benalcázar Amanta, 2022). Mientras que en Brasil se encontró que el

70% de los linieros presentó al menos un síntoma musculo esquelético en los hombros, la espalda o las rodillas (de Lima et al., 2022). En Irán los linieros reportan la aparición de síntomas musculoesqueléticos como dolor de espalda (54,6%), hombro (39,2%) y rodilla (36,8%) relacionados con acciones o tareas de cableado (Gandomi & Zardushtian, 2021).

La empresa de energía objeto de estudio ha venido realizando proyectos como el de "intervención ergonómica", donde se analizaron las actividades de los operarios (linieros). Se encontró que las actividades laborales que desarrollan las cuadrillas, de las cuales el 19,4% las ejecuta el liniero, presentan calificaciones de riesgo altas por carga física, definida por requerimientos de posturas forzadas de diferentes segmentos corporales, requerimientos de fuerza por manipulación de cargas y por movimientos resistidos y en arcos extremos. El estudio recomendó integrar a todos los linieros al programa de lesiones osteomusculares que orienta la empresa.

En estudios de Colombia (Jiménez Herrera & Silva Rojas, 2023), Nigeria (Omojunikanbi et al., 2022) y Pakistán (Munir, 2022), en personal administrativo, se presentan prevalencias por presencia de síntomas musculoesqueléticos relacionados con el trabajo, superiores al 56%, presentando síntomas en las zonas corporales de espalda superior, espalda lumbar, hombros y cuello. En Portugal (Serranheira, et al., 2020) se compara dos grupos de personas de diferentes cargos (administrativos y obreros) manifestando la presencia de síntomas de dolor de

espalda (46,8% y 54,7%), por desarrollar movimientos repetitivos, precisos y finos debido al mantenimiento de la misma postura.

El objetivo del presente estudio fue determinar la prevalencia de los síntomas y

factores de riesgo biomecánico en personal operativo (linieros) y administrativo de una empresa de energía en Colombia, con el fin de realizar aportes que ayuden a mejorar las condiciones de trabajo del personal de la empresa.

METODOLOGÍA

Estudio de corte transversal realizado con los empleados de una empresa del sector energético en Colombia. La población universo estuvo conformada por 540 empleados donde 240 desarrollaban actividades operativas (Linieros) y 300 actividades administrativas. Se excluyeron empleados que llevaran menos de un año en el cargo.

El estudio se realizó con una muestra de 160 personas, 94 de ellas pertenecientes a cargos administrativos y 66 en cargos de linieros (operativos), fue definida por muestro aleatorio simple con un nivel de confianza del 95% y un error máximo permitido del 0,05.

Se usó el cuestionario validado ERGOPAR del manual del método de ergonomía participativa para la prevención de trastornos musculoesqueléticos de origen laboral (García et al., 2011), creado por el Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud de España (ISTAS) con previa autorización de los participantes mediante la firma de un consentimiento informado y

sujeito a la reglamentación de las normas científicas, técnicas y administrativas para investigación en salud que involucre seres humanos. El instrumento incluyó variables sociodemográficas y laborales y se indagó acerca de la presencia de síntomas osteomusculares y factores de riesgo biomecánico.

Se tomó de manera aleatoria el 10% de las encuestas, las cuales fueron revisadas confirmando el correcto registro de los datos. La sistematización de los datos se hizo en el programa estadístico SPSS versión 21. Las variables independientes cuantitativas como edad, antigüedad en el cargo y número de hijos se analizaron con medidas de tendencia central y medidas de dispersión y a las variables independientes cualitativas como sexo, nivel de formación, forma de trabajar y tipo de trabajo se les trató con el cálculo de frecuencias absolutas y porcentajes. La relación entre las variables dependientes y cada una de las variables independientes se evaluó a través de pruebas de asociación χ^2 y prueba exacta de Fisher.

RESULTADOS

El estudio se realizó con una población de 160 trabajadores, 94 trabajadores corresponden al personal administrativo y 66 al personal operativo (linieros). Del personal administrativo 73 fueron hombres y 21 mujeres mientras que en el personal operativo todos los trabajadores fueron

hombres. El promedio de edad en el personal administrativo fue de 43,85 años (D.S 9,7) y el del operativo de 42,77 años (D.S 9,8) con tiempo promedio en el cargo de 10,96 años (D.S 8,06) y 13 años (D.S 7,95) respectivamente. La tabla 1 presenta la caracterización sociodemográfica y laboral de la población objeto de estudio.

Tabla 1. Caracterización sociodemográfica y laboral de trabajadores

Características	Administrativo			Operativo		
	n= 94			n= 66		
<i>Edad</i>	Media	D.S		Media	D.S	
	43,8	9,7		42,7	9,8	
<i>Antigüedad en el cargo</i>	Mediana	Q1	Q3	Mediana	Q1	Q3
	10,9	5,0	16,0	13	6	19
<i>Número de Hijos</i>	Media	Q1	Q3	Media	Q1	Q3
	2	1	3	2,29	1	3
<i>Sexo</i>	Frecuencia	%		Frecuencia	%	
(Masculino)	73	77,7		66	100	
(Femenino)	21	22,3		0	0,0	
<i>Forma de trabajar</i>						
Solo	68	72,3		24	36,4	
Por Cuadrilla	26	27,7		42	63,6	
<i>Tipo de trabajo</i>						
Turno Fijo	87	92,6		51	77,3	
Turno Rotativo	7	7,4		15	22,7	

La prevalencia para síntomas de molestia o dolor en región lumbar en personal operativo (linieros) fue de 80,3%, mayor que la encontrada en personal administrativo con un 72,2%. La presencia de síntomas en piernas, rodillas y pies fue mayor en personal operativo que administrativo presentándose una prevalencia en operativos de 47%, 56,1% y

56% y en administrativos de 31,9%, 43,6% y 41,5% respectivamente. La presencia de síntomas de molestia o dolor en el segmento cuello, hombros y/o espalda dorsal en personal administrativo es menor que en el personal operativo presentando una prevalencia de 89,4% y 97%. (Ver tabla 2).

Tabla 2. Presencia de síntomas de molestia y dolor del personal según el tipo de cargo

Segmento	Cargo	Molestia		Dolor		Ni molestia ni dolor	
		N	%	N	%	N	%
Cuello, hombros y/o espalda dorsal	Administrativo	50	53,2	34	36,2	10	10,6
	Operativo	38	57,6	26	39,4	2	3,0
Espalda lumbar	Administrativo	46	48,9	22	23,4	26	27,7
	Operativo	35	53,0	18	27,3	13	19,7
Codos	Administrativo	18	19,1	16	17,0	60	63,8
	Operativo	19	28,8	6	9,1	41	62,1
Manos y muñecas	Administrativo	33	35,1	30	31,9	31	33,0
	Operativo	24	36,4	21	31,8	21	31,8
Piernas	Administrativo	23	24,5	7	7,4	64	68,1
	Operativo	21	31,8	10	15,2	35	53,0
Rodillas	Administrativo	27	28,7	14	14,9	53	56,4
	Operativo	18	27,3	19	28,8	29	43,9
Pies	Administrativo	27	28,7	12	12,8	55	58,5
	Operativo	28	42,4	9	13,6	29	43,9

Al 46,25% del total de los trabajadores por lo menos un síntoma en uno de los segmentos corporales les ha impedido alguna vez realizar la labor. Al 53 % del personal operativo la molestia o dolor les impido realizar las tareas de su cargo. El 67% del personal administrativo y el 75,8% del operativo mencionan que las molestias o dolores se han producido por las tareas del puesto de trabajo. Para la aplicación del cuestionario la molestia se entiende como una incomodidad general en el cuerpo o en una parte de el y el dolor se centra en la una señal directa que se presenta en una parte especifica del cuerpo y crea en la persona

un malestar más grave en riesgo de una posible lesión.

En la tabla 3 se presentan los resultados de las frecuencias de tiempo en el que el personal adopta cada postura en desarrollo de sus actividades laborales. El 9,3% del total del personal no adopta posturas con movimientos de cuello/cabeza y el 17,5% no adopta posturas con movimientos de espalda/tronco. Para la recolección de los datos de las posturas se realizo por medio del cuestionario a quienes se les indagaba por cada uno de los tiempos en que consideraban que realizaban dicha postura.

Tabla 3. Presencia de posturas en personal según el tipo de trabajo

Posturas	Cargo	Menos de 30 minutos		Entre 30 minutos y 2 horas		Más de 2 horas		Total
		N	%	N	%	N	%	N
Inclinar el cuello/cabeza hacia delante	Administrativo	25	26,59	16	17,02	30	31,91	71
	Operativo	32	48,48	14	21,21	6	9,09	52
Inclinar el cuello/cabeza hacia atrás	Administrativo	37	39,36	13	13,82	6	6,38	56
	Operativo	32	48,48	17	25,75	6	9,09	55
Inclinar el cuello/cabeza hacia un lado o ambos	Administrativo	43	45,74	7	7,44	9	9,56	59
	Operativo	32	48,48	11	16,66	3	4,54	46
Girar el cuello/cabeza	Administrativo	34	36,17	17	18,08	15	15,95	66
	Operativo	30	45,45	14	21,21	6	9,09	50
Inclinar la Espalda/Tronco hacia delante	Administrativo	41	43,61	15	15,95	9	9,57	65
	Operativo	23	34,84	20	30,30	7	10,60	50
Inclinar la Espalda/Tronco hacia atrás	Administrativo	36	38,29	17	18,08	8	8,51	61
	Operativo	21	31,81	23	34,84	8	12,12	52
Inclinar la Espalda/Tronco hacia un lado o ambos	Administrativo	40	42,55	9	9,57	3	3,19	52
	Operativo	29	43,93	17	25,75	5	7,75	51
Girar la Espalda/Tronco	Administrativo	38	40,42	17	18,08	7	7,44	62
	Operativo	24	36,36	22	33,33	6	9,09	52
Las manos por encima de la cabeza o los codos por encima de los hombros	Administrativo	33	35,10	14	14,89	10	10,63	57
	Operativo	24	36,36	21	31,81	8	12,12	53
Una o ambas muñecas dobladas hacia arriba o hacia abajo, hacia los lados o girados	Administrativo	30	31,91	9	9,57	28	29,78	67
	Operativo	29	43,93	19	28,78	4	6,06	52
Ejerciendo presión con uno de los pies	Administrativo	22	23,40	11	11,70	12	12,76	45
	Operativo	18	27,27	24	36,36	12	18,18	54

El 45,5% del personal operativo realizó la actividad caminar mientras se sube o baja niveles por periodos de tiempo mayores a 30 minutos. El personal operativo adopta las siguientes posturas en periodos de tiempo entre 30 minutos y 2 horas: inclinación de espalda/tronco hacia atrás 34,84% e inclinación de espalda/tronco hacia un lado o ambos 25,75% , uso de manos por encima de cabeza o los codos por encima de los hombros 31,81% y ejercer presión con uno de los pies 36,36 % , lo anterior considerando que el personal tiene que realizar labores en poste estando suspendidos y generando apoyo de la espalda/tronco en la eslinga de posicionamiento con el fin de dejar libres los brazos y manos. Se destaca que el personal administrativo adopta las posturas de sentado 74.4% y utiliza de manera intensiva los dedos 46,8% en periodos de tiempo superior a las dos horas.

Al evaluar la asociación de los síntomas musculoesqueléticos con variables sociodemográficas y ocupacionales para todo el personal (ver tabla 4), se encontró asociación entre sexo y presencia de síntomas de molestia o dolor en espalda lumbar (p 0.013), donde el 80% de los hombres y el 95,2% de las mujeres presentan dolor en esta zona del cuerpo.

El nivel de escolaridad presenta asociación con aparición de síntomas en cuello, hombros y/o espalda dorsal (p 0.043), esto debido a que se evidencia que aquellos trabajadores que poseen un mayor nivel de educación poseen una mayor cultura de

autocuidado y también poseen más conocimiento frente las posibles lesiones o enfermedades laborales que pueden presentar. El 92,5% de los empleados tienen molestia o dolor en esta zona del cuerpo de los cuales el 89,36% es administrativo y el 96,96% es operativo. Los empleados que tienen un nivel de estudio técnico y universitario presentan el mayor porcentaje de presencia de dolencias en este segmento corporal.

La antigüedad en el cargo tiene asociación con la presencia de síntomas en cuello, hombros y/o espalda dorsal (p 0,030), rodillas (p 0,003) y pies (p 0,007). El 45,9% de los empleados que presentan síntomas de molestia o dolor en cuello, hombros y/o espalda dorsal tienen una antigüedad en el cargo entre 3 y 12 años. El 48,75% de los empleados presentan dolor o molestia en rodillas, el 23% y 16,25% del personal que presenta dolor tiene una antigüedad en el cargo entre 3 a 12 años y 13 a 22 años respectivamente, siendo los rangos de edad con mayor prevalencia en aparición de síntomas en rodillas. Con respecto al tipo de cargo, el 43,61% del personal administrativo presenta síntomas de molestia o dolor en rodillas valor inferior al del personal operativo 56,06%.

Por último, se presenta asociación de síntomas de molestia o dolor en pies con la antigüedad en el cargo, donde la mayor prevalencia está en los rangos de edades de 3 a 12 años (24,37%) y 13 a 22 años (15,62%). El 41.48% del personal administrativo y el 56,06% del operativo presenta síntomas de molestia o dolor en este segmento corporal.

Tabla 4. Valores-p de Factores sociodemográficos y laborales asociados con los síntomas musculoesqueléticos por segmentos

	Cuello, hombros y/o espalda dorsal	Espalda lumbar	Codos	Manos y muñecas	Piernas	Rodillas	Pies
Sexo	1,000	0,013	0,333	0,458	1,000	0,643	1,000
Nivel de escolaridad	0,043	0,490	0,183	0,243	0,944	0,180	0,375
Antigüedad en el cargo	0,030	0,517	0,257	0,297	0,197	0,003	0,007
Edad	0,410	0,458	0,490	0,499	0,413	0,071	0,350
Número de hijos	0,459	0,243	0,086	0,139	0,905	0,137	0,440
Forma de trabajo	1,000	0,198	1,000	0,394	1,000	0,263	0,264
Tipo Turno de trabajo	1,000	0,106	1,000	0,085	0,243	0,066	0,114
Tipo de cargo	0,124	0,268	0,869	1,000	0,069	0,149	0,078

CONCLUSIONES

La población objeto de estudio presenta prevalencias altas de molestia o dolor en mayor medida en Cuello, hombros y/o espalda dorsal y Espalda lumbar, aumentando en trabajadores que están entre los 3 y 12 años de permanencia en el cargo, observándose mayores prevalencias en el personal operativo (liniero). El personal presenta asociaciones entre antigüedad en el cargo con la presencia de síntomas de molestia o dolor en cuello, hombros y/o espalda dorsal, rodillas y pies. Al 46,25% del total de los trabajadores por lo menos un síntoma en uno de los

segmentos corporales les ha impedido alguna vez realizar la labor, siendo el personal operativo quien presenta mayores impedimentos por presencia de síntomas al momento de realizar las tareas.

El 67% del personal administrativo y el 75,8% del operativo mencionan que las molestias o dolores se han producido por las tareas del puesto de trabajo. Teniendo en cuenta los resultados, se recomienda formular estrategias para la prevención de aparición de síntomas musculoesqueléticos y/o factores de riesgo biomecánico en los trabajadores, priorizando la intervención en el personal operativo.

REFERENCIAS

- Benalcázar Amanta, A. E. (2022). *Determinación de lesiones musculoesqueléticas en el personal de linieros de construcciones eléctricas en el año 2020* [Master's thesis]. <https://dspace.uniandes.edu.ec/bitstream/123456789/15290/1/UA-MSO-EAC-086-2022.pdf>
- Bhattacharya, A. (2014). Costs of occupational musculoskeletal disorders (MSDs) in the United States. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44(3), 448-454. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2014.01.008>
- Bovea, M.; Carlos, M.; García, N.; Mulet, E. & Pérez, V. (2013). *Manual de seguridad e higiene industrial para la formación en ingeniería*. Universitat Jaume I: España.
- Davies, K., Weale, V. & Oakman, J. (2023). A participatory ergonomics intervention to redesign work and improve the musculoskeletal health of paramedics: protocol for a cluster randomised controlled trial. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 24(1), 716. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06834-8>
- de Lima, F. T., Gemma, S. F. B., Misuta, M. S., da Silva, S. B. & Brittes, J. L. P. (2022). Métodos e Práticas Integrativas em P&D: Contribuições para a Saúde, Segurança e Qualidade de Vida (SSQV) de Eletricistas de Linha Viva. *Desenvolvimento em Questão*, 20(58), e12318-e12318. <http://dx.doi.org/10.21527/2237-6453.2022.58.12318>
- Gandomi, F. & Zardushtian, S. (2021). The relation between workplace ergonomics and body composition with productivity and job involvement of employees in Kermanshah oil refining company. *Health and Development Journal*, 10(3), 206-214. <https://doi.org/10.22062/jhad.2021.91789>
- García, A. M., Gadea, R., Sevilla, M. J., & Ronda, E. (2011). Validación de un cuestionario para identificar daños y exposición a riesgos ergonómicos en el trabajo. *Revista española de salud pública*, 85, 339-349. https://scielo.isciii.es/pdf/resp/v85n4/03_origina12.pdf
- Guerrero Liñeiro, A. M., Gómez López, M. P. (2023). *Informe de un grupo científico de la ACED. Octavo estudio nacional del dolor: Prevalencia del dolor crónico en Colombia*. <http://dolor.org.co/>
- International Labor Organization (2021). *Estadísticas de lesiones profesionales*. <http://www.ilo.org/ilostat>
- Jiménez Herrera, J. G., & Silva Rojas, D. G. (2023). *Factores de riesgo ergonómico asociados al puesto de trabajo del personal administrativo, una problemática en la salud ocupacional en Colombia periodo 2019-2022* (Bachelor's thesis). <https://alejandria.poligran.edu.co/handle/10823/6940>
- Memarian, B., Brooks, S. B., Le, J. C., & Rivera, J. E. (2022). High-Risk Electrical Tasks & Contributing Work Factors. *Professional Safety*, 67(08), 14-20. <https://bit.ly/3bW6qza>
- Ministerio del Trabajo (2023). *Encuesta nacional de condiciones de seguridad y salud en el trabajo en el sistema general de riesgos laborales*. <https://ccs.org.co/>
- Ministerio de trabajo (2023). *Indicadores del sistema general de riesgos laborales*. <https://www.minsalud.gov.co/proteccion-social/RiesgosLaborales/Paginas/indicadores.aspx>
- Munir, M. (2022). Frequency of musculoskeletal complaints and their associated risk factors among computer workers. *Work*, 72(3), 997-1005. <https://doi.org/10.3233/WOR-210266>
- Nabi, M. H., Kongtip, P., Woskie, S., Nankongnab, N., Sujirarat, D., & Chantanakul, S. (2021). Factors associated with musculoskeletal disorders among female readymade garment workers in Bangladesh: a

comparative study between OSH compliant and non-compliant factories. *Risk management and healthcare policy*, 1119-1127.

<https://doi.org/10.2147/RMHP.S297228>

Noor, A., Arif, U., Aslam, S., Sabir, R., Sohail, A. A., Aslam, H., & Ch, M. (2021). Prevalence of musculoskeletal disorder in electricity lineman in city Faisalabad, Pakistan. *Annals of Musculoskeletal Medicine*, 5(2), 009-012.

<https://dx.doi.org/10.17352/amm>

Omojunikanbi, O. A., Akinpelu, A. O., & Ekechukwu, E. N. D. (2022). Prevalence, pattern and predictors of work-related musculoskeletal disorders among oil workers in Nigeria. *Work*, 71(1), 151-163.

<https://doi.org/10.3233/WOR-205005>

Organización Internacional del Trabajo (OIT) (2021). *La seguridad en cifras. Sugerencias para una cultura general en materia de seguridad en el trabajo*. Ginebra – Suiza.

https://www.ilo.org/legacy/english/protection/safework/worldday/report_esp.pdf

Peele, P. B., Xu, Y. & Colombi, A. (2005, June). Medical care and lost work day costs in

musculoskeletal disorders: older versus younger workers. In *International Congress Series* (Vol. 1280, pp. 214-218). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/j.ics.2005.02.065>

Serranheira, F., Sousa-Uva, M., Heranz, F., Kovacs, F., & Sousa-Uva, A. (2020). Low Back Pain (LBP), work and absenteeism. *Work*, 65(2), 463-469.

<https://doi.org/10.3233/WOR-203073>

Yang, F., Di, N., Guo, W. W., Ding, W. B., Jia, N., Zhang, H., ... & Yin, Y. (2023). The prevalence and risk factors of work related musculoskeletal disorders among electronics manufacturing workers: a cross-sectional analytical study in China. *BMC Public Health*, 23(1), 10.

<https://doi.org/10.1186/s12889-022-14952-6>

Zhang, Z., & Lin, K. Y. (2024). Applying implementation science to evaluate participatory ergonomics program for continuous improvement: A case study in the construction industry. *Applied Ergonomics*, 115, 104181.

<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2023.104181>

Autores

Julián David Silva Rodríguez. Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial, Candidato a Doctor en Ingeniería de Procesos, julian.silva@usantoto.edu.co, Grupo de Investigación GISPA, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Santo Tomás – Seccional Tunja, Colombia.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7497-8632>

Email: julian.silva@usantoto.edu.co

Angel Alexander Zapaquira Vargas. Ingeniero Industrial, Especialista en Gerencia logística, Magíster en Salud Ocupacional y Ambiental, azapaquira@uniboyaca.edu.co. Universidad de Boyacá, Tunja, Colombia.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7150-6389>

Email: azapaquira@uniboyaca.edu.co

Recibido: 03-09-2023

Aceptado: 29-12-2023

Métodos de avaliação discente na educação em engenharia para a formação baseada em competências

Methods of student assessment in engineering education for competency-based education

Letícia Guterres Duarte, Maria Cannarozzo Tinoco

<https://doi.org/10.54139/riiant.v8i31.598>

Palavras-chave: avaliação, competências, engenharia, ensino superior

Key words: assessment, competencies, engineering education, higher education

RESUMO

Considerando as constantes transformações tecnológicas, econômicas e sociais que ocorrem atualmente, assim como as demandas dos setores produtivos, os profissionais engenheiros precisam desenvolver diversas competências. A fim de atender essa demanda imposta os métodos de ensino e avaliação dos discentes dos cursos de engenharia necessitam passar por reformulações. Com base nisso, o presente estudo realizou o levantamento dos principais métodos que estão sendo utilizados atualmente para o acompanhamento do desenvolvimento e para a avaliação das competências desenvolvidas pelos alunos, assim como compilou as características de maior relevância desses métodos e do tipo de avaliação fornecida por eles. Também foram abordadas as definições adotadas na área e demonstradas as principais dificuldades apontadas na literatura que ocorrem ao implementar esse tipo de avaliação e as principais sugestões que os estudos apontam como melhorias. Com isso, é possível visualizar as alterações e os aprimoramentos que necessitam ocorrer no cenário atual para o favorecimento da implementação e integração da avaliação de competências dos discentes dos cursos de graduação em Engenharia.

ABSTRACT

Considering the constant technological, economic and social transformations currently taking place, along with the demands of productive sectors, engineering professionals need to develop diverse competencies. In order to meet this demand, the teaching and assessment methods for engineering students must undergo restructuring. Based on this, the present study surveyed the main methods currently being used for monitoring the development and evaluating the competencies of students, compiling the most relevant characteristics of these methods and the type of assessment they provide. The study also addressed the definitions adopted in the field and demonstrated the primary challenges highlighted in the literature when implementing this type of assessment, along with the main suggestions that studies propose for improvement. Thus, it is possible to visualize the changes and enhancements that need to occur in the current scenario to favor the implementation and integration of competency assessment for students in undergraduate engineering courses.

INTRODUÇÃO

Os constantes avanços tecnológicos e fatores como a globalização, estão ocasionando grandes alterações na engenharia (Tinoco et al., 2019; Malhotra et al., 2023) e com isso o seu ensino também precisa ser revisto para preparar os engenheiros para os desafios atuais e futuros (Parashar & Parashar, 2012). Repensar o ensino de uma área acadêmica tão tradicional como a engenharia é um grande desafio global (Oliveira & Pinto, 2006), porém é fundamental para o sucesso da engenharia no cenário atual que as universidades adotem uma abordagem sistêmica para atualizar seus currículos, tornando os futuros engenheiros multidisciplinares e focados no desenvolvimento de competências técnicas e comportamentais, visando melhorar sua empregabilidade e atender às demandas do mercado de trabalho (Tinoco et al., 2019; Parashar & Parashar, 2012; Oliveira & Pinto, 2006; Meixell et al., 2015; Tinoco et al., 2023).

Muitos estudos procuram definir quais seriam as competências necessárias ao engenheiro atual (Carvalho & Tonini, 2017), habilidades de comunicação e de resolução de problemas, assim como atitudes interpessoais, resiliência e autoconfiança estão sendo muito valorizadas pelas empresas (Veraldo Jr., 2017). É esperado que o profissional esteja capacitado em conhecimentos, habilidades e atitudes, sendo que esse conjunto de atributos está englobado no que se define como competência (Silva & Tonini, 2018).

Na área da engenharia, competência se define como a capacidade de mobilizar e articular os saberes (ou conhecimentos), habilidades específicas, aptidões e atitudes para resolver eficazmente novos problemas, devidamente contextualizados, de forma fundamentada e consciente (Veraldo Jr., 2017; Malhotra et al., 2023).

Com o objetivo de atender as novas necessidades, cursos de graduação em Engenharia em diferentes países passaram por transformações (Buyurgan & Kiassat, 2017). No Brasil, as novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) para as engenharias (MEC, 2019) estabelecem um roll de competências a serem desenvolvidas durante o curso, com o objetivo de possibilitar a formação de um profissional que atenda às necessidades atuais da sociedade e do mercado de trabalho (Carvalho & Tonini, 2017).

É necessário que seja demonstrado o desenvolvimento das competências esperadas por parte dos alunos conforme estipulado nas metas de aprendizagem do currículo do curso (Cajander; Daniels; Von Kinsky, 2011). Quando os resultados de aprendizagem são expressos de forma clara, possibilita que os alunos entendam melhor quais competências e habilidades eles devem adquirir ao longo do curso (Adam, 2006). A forma como a avaliação é realizada pode afetar como os alunos lembrarão e compreenderão o que foi a eles ensinado (Malhotra et al., 2023).

Entre as ferramentas e métodos para avaliação de competências mais

empregados estão os questionários e as rubricas (Cruz et al., 2020; Malhotra et al., 2023), sendo que essa última tem tido expressivo crescimento de uso tanto por parte dos estudantes quanto dos educadores (Velasco-Martínez & Tójar-Hurtado, 2018). A partir delas é possível obter evidências no que diz respeito à aquisição de competências (Baryla et al., 2012; Panadero & Jonsson, 2013), sendo uma forma de avaliar a qualidade de um processo e não apenas a qualidade do produto final (Velasco-Martínez & Tójar-Hurtado, 2018). As rubricas garantem que todos os alunos sejam avaliados com os mesmos critérios, sem inconsistências ou subjetividades (Raposo-Rivas & Martínez-Figueira, 2014).

No entanto, ainda há poucos estudos sobre a estruturação e implementação da avaliação por competências de forma abrangente e do monitoramento sistemático das competências desenvolvidas pelos alunos dos cursos de engenharia ao longo da graduação (Tinoco et al., 2023). Conforme Camargo Jr. et al. (2015) o processo de ensino-aprendizagem é um dos aspectos mais importantes para o meio acadêmico e deve ter uma avaliação contínua para monitorar as melhorias obtidas no aprendizado real dos alunos.

É necessário o desenvolvimento de métodos robustos de avaliação das competências, assim como maior rigor metodológico no desenvolvimento e avaliação dos componentes de competências e recursos para apoiar uma verdadeira mudança curricular. Alguns métodos desenvolvidos carecem de

melhores evidências de validade e de confiabilidade (Cruz et al., 2020). Outro problema enfrentado é a falta de consenso quanto à definição das competências entre as diferentes comunidades de educação em engenharia, órgãos governamentais e empregadores (Shuman et al., 2005), assim como a dificuldade de distinção entre o que é método, ferramenta ou prática de avaliação das competências. Também se verifica uma lacuna para avaliar algumas competências transversais de forma independente, pois geralmente elas estão entrelaçadas com competências técnicas (Cruz et al., 2020; Badcock et al., 2010; Shuman et al., 2005).

Nesse cenário, busca-se responder a seguinte questão de pesquisa: Quais as principais ferramentas, métodos e práticas para avaliar as competências dos discentes em cursos de engenharia? Desta forma, o presente estudo tem como objetivo realizar um levantamento da literatura sobre as ferramentas, métodos e práticas para avaliação de competências dos discentes em cursos de engenharia. Através dessa revisão pretende-se esclarecer quais são os mecanismos mais empregados para realizar de forma confiável a avaliação e o acompanhamento sistemático do desenvolvimento dessas competências ao longo do curso, assim como as dificuldades nesse processo.

Referencial teórico

Alterações no cenário da engenharia e no seu ensino

A engenharia está passando por grandes transformações no cenário atual, fatores como por exemplo, a globalização e os

rápidos avanços tecnológicos exercem grande influência nessas constantes alterações. Com isso, os profissionais da área precisam demonstrar uma combinação de conhecimento técnico e experiência prática juntamente com as chamadas habilidades interpessoais para que assim se mantenham competitivos e empregados (Parashar & Parashar, 2012).

A engenharia e a tecnologia têm uma grande importância na obtenção de soluções para os desafios globais atuais, como a sustentabilidade, redução das desigualdades e crescimento econômico. A sociedade espera que o profissional engenheiro consiga encontrar soluções coerentes para o contexto de cada local, necessitando que ele tenha a capacidade de lidar com questões científicas, tecnológicas, econômicas, políticas, éticas, sociais e ambientais, assim como tenha um bom desempenho na análise crítica de problemas, uma comunicação eficaz, um aprendizado contínuo e um grande poder de adaptação a mudanças, incertezas e complexidades no local de trabalho (Parashar & Parashar, 2012; Meixell et al., 2015).

A partir desse cenário imposto, se faz necessário repensar o tradicional ensino da engenharia (Malhotra et al., 2023), o qual necessita se adaptar e contribuir para o enfrentamento das mudanças na indústria e na sociedade em geral, preparando de forma adequada os graduandos com as competências e conhecimentos que eles precisarão para desempenhar sua futura profissão (Parashar & Parashar, 2012; Tinoco et al., 2019). Com o objetivo de

atender essa demanda, muitos cursos de engenharia estão explorando maneiras de redesenhar e atualizar seus currículos, buscando o desenvolvimento de estratégias para ir além do entendimento das questões técnicas e simples reprodução de conhecimentos científicos e tecnológicos (Tinoco et al., 2019; Oliveira & Pinto, 2006), abordando os novos tipos de conhecimentos interdisciplinares e complexos que hoje são necessários (Parashar & Parashar, 2012; Malhotra et al., 2023).

O ambiente acadêmico precisa utilizar uma abordagem sistêmica, realizando a integração entre a estrutura curricular do curso, a formação dos alunos e as práticas pedagógicas (Tinoco et al., 2019), dando ênfase no que o aluno pode realizar ou onde poderá aplicar seu conhecimento no mundo real (Malhotra et al., 2023). Uma medida que vem sendo adotada para isso é o ensino centrado no aluno por meio da aprendizagem ativa e cooperativa, onde os alunos participam ativamente do processo de aprendizagem, ao contrário da abordagem tradicional que é mais didática, liderada pelo professor (Parashar & Parashar, 2012; Malhotra et al., 2023), seguindo um currículo fragmentado e unidisciplinar (Oliveira & Pinto, 2006). Essa abordagem tradicional onde o conhecimento é transmitido através de aulas expositivas e avaliação puramente somativa, por meio de provas, não é mais capaz de produzir as respostas socialmente demandadas (Tinoco et al., 2023; Malhotra et al., 2023).

Um aspecto fundamental na aprendizagem ativa é a preocupação com a prática do conhecimento adquirido (Parashar & Parashar, 2012), onde o estudante consegue ver a relação prática que existe entre as disciplinas abordadas no curso e o desenvolvimento e execução de um determinado projeto, por exemplo (Oliveira & Pinto, 2006; Silva & Tonini, 2018). Esse processo de aprendizagem envolve de forma concomitante teoria e prática, sendo que os professores agem como mentores, guias e facilitadores enquanto os alunos são os protagonistas do desenvolvimento das competências necessárias para enfrentar os desafios atuais do exercício de sua profissão (Malhotra et al., 2023), os quais exigem competências e habilidades que vão além dos conhecimentos técnicos da engenharia (Verardo Jr., 2017).

Recursos interessantes que podem ser utilizados, junto com atividades mais tradicionais como laboratórios e exercícios (Parashar & Parashar, 2012), são a adoção de turmas pequenas com alta interação aluno-professor (Meixell et al., 2015) e o uso de salas de aulas para aprendizagem ativa, as quais podem facilmente se tornarem laboratórios de exercícios práticos (Buyurgan & Kiassat, 2017).

A transformação curricular precisa se embasar na necessidade de encontrar um equilíbrio entre o desenvolvimento das competências técnicas e das competências comportamentais ou transversais requeridas para que os novos profissionais consigam desempenhar sua profissão conforme o que é esperado deles

atualmente. O currículo, antes focado no conteúdo, deve passar a priorizar o desenvolvimento de habilidades e competências necessárias (Carvalho & Tonini, 2017), onde os alunos tenham maior flexibilidade para tornar sua aprendizagem em engenharia mais personalizada (Buyurgan & Kiassat, 2017). Diversos métodos inovadores e abordagens multidisciplinares podem ser adotados no ensino de engenharia (Parashar & Parashar, 2012).

Um dos caminhos trilhados para conseguir esse almejado equilíbrio é através do modelo de formação baseado em competências (Tinoco et al., 2023; Cruz et al., 2020; Malhotra et al., 2023). No Brasil o desenvolvimento de um ensino baseado em competências é promovido pelas novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) para as Engenharias (MEC, 2019). Para a engenharia de produção, por exemplo, considerando as áreas de atuação desses profissionais definidas pela ABEPRO (Associação Brasileira de Engenharia de Produção), pode se observar sete blocos distintos de atividades de ensino: (i) Produção; (ii) Otimização; (iii) Qualidade; (iv) Fatores Humanos; (v) Projeto/Produto; (vi) Economia da Produção; e (vii) Tecnologia” (Tinoco et al., 2019).

Competências necessárias para os profissionais da engenharia

O termo competência é multidimensional e vem sendo utilizado por diversos domínios do conhecimento, podendo fazer referência a um conjunto de capacidades, características e saberes ou apenas a uma especialidade técnica (Silva & Tonini,

2018). Em uma perspectiva relacionada ao desempenho profissional, muitos estudos definem que competência é a capacidade de executar tarefas especificadas com o nível de competência exigido (Veraldo Jr., 2017; Malhotra et al., 2023). A combinação de conhecimento, experiência prática e alguns traços pessoais, como ética e responsabilidade, resulta nas competências profissionais (Veraldo Jr., 2017). As quais são denominadas na literatura de diversas formas, como por exemplo competências transversais, competências de empregabilidade, competências genéricas, competências-chave, habilidades não técnicas, habilidades não tradicionais, habilidades profissionais, habilidades interpessoais, competências transferíveis e competências do século XXI (Cruz et al., 2020).

A competência na área da engenharia pode ser caracterizada como a capacidade de articular os conhecimentos adquiridos, as habilidades específicas e as atitudes para resolver os problemas devidamente contextualizados de forma eficaz, consciente e fundamentada (Veraldo Jr., 2017). As instituições de ensino precisam desenvolver em seus discentes os conhecimentos, as habilidades e as atitudes necessárias para obter o maior impacto positivo da engenharia na sociedade (Parashar & Parashar, 2012).

A partir das discussões sobre competências procura-se criar um vínculo entre o que é desenvolvido nas instituições de ensino e o que o mercado espera no desempenho profissional dos futuros engenheiros. O perfil atual dos profissionais da engenharia

estimula grandes debates, pois se procura encontrar um descritivo de competências que supra as expectativas da sociedade atual e as necessidades do mercado de trabalho (Tinoco et al., 2023).

De maneira geral e simplista, as competências básicas esperadas na área da engenharia são a habilidade da resolução de problemas e a capacidade de realizar atividades de maneira objetiva (Veraldo Jr., 2017). Porém, no mercado de trabalho também se fazem necessárias diversas outras competências como por exemplo, uma boa comunicação, facilidade no trabalho em equipes diversas, alta adaptabilidade e aprendizagem contínua. E, junto com os desafios da tecnologia, também surgiu a necessidade de que os profissionais engenheiros tenham competências relacionadas a inovação e criatividade (Cruz et al., 2020).

Tanto os estudantes quanto os empregadores e professores sabem que apenas o desenvolvimento de sólidos conhecimentos técnicos e domínios específicos não são suficientes para que de fato ocorra a integração dos graduados ao mercado de trabalho. Com isso, as instituições de ensino precisam incorporar o desenvolvimento e avaliação das demais competências e saberes não técnicos durante o processo de aprendizagem (Carvalho & Tonini, 2017).

Atualmente, as instituições de ensino superior estão buscando desenvolver a habilidade de comunicação dos alunos por diferentes meios e exercitando o trabalho em equipe através de simulações realistas de negócios e gerenciamento de projetos,

por exemplo. Assim, os alunos vão desenvolvendo competências importantes para a resolução de conflitos, a construção de consenso e a liderança de equipe (Shuman et al., 2005). A imersão dos alunos na resolução de um problema complexo e realista pode ser um bom contexto de aprendizagem, para isso é importante que o problema utilizado para esse fim teste pelo menos uma hipótese, utilize apenas equipamentos e instalações disponíveis, seja realisticamente complexo, se beneficie de um esforço coletivo e seja considerado relevante e interessante pelos alunos (Cajander; Daniels; Mcdermott; Von Kinsky, 2011).

Considerando que os engenheiros frequentemente trabalham sob condições de pressão e exigências de custos e prazos baixos, é muito importante também que esses profissionais tenham competências como ética e responsabilidade profissional adequadamente desenvolvidas (Shuman et al., 2005). Ter vivência ao longo da graduação em ambientes profissionais sob a orientação de engenheiros atuantes e em outras realidades sociais, como a experiência de programas de intercâmbio, também pode proporcionar o desenvolvimento de competências importantes, como a capacidade de comunicação e trabalho com grupos de

diferentes perspectivas (Buyurgan & Kiassat, 2017), maior adaptabilidade à mudanças e maior engajamento na busca por soluções inovadoras para problemas relacionados à globalização e sustentabilidade (Shuman et al., 2005).

Na prática, na maioria dos casos, as instituições de ensino procuram seguir as recomendações de órgãos reguladores, de associações de acreditação e conselhos profissionais para organizar as disciplinas e conteúdos que serão abordados ao longo do curso e as competências que deverão ser desenvolvidas (Meixell et al., 2015). A acreditação da ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology), por exemplo, é usada por muitas universidades como modelo de competências necessárias para os profissionais de engenharia (Tinoco et al., 2023). No Brasil, seguindo a tendência mundial de discussões acerca do perfil do engenheiro, as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia (MEC, 2019) propuseram um novo perfil profissional com ênfase generalista, humanista, crítico e reflexivo, voltado para uma sólida formação técnica, mas também para a aquisição de habilidades e competências considerando as necessidades atuais da sociedade e do mercado de trabalho (Carvalho & Tonini, 2017).

METODOLOGIA

Classificação da pesquisa

A natureza desta pesquisa é aplicada, pois conforme Silva e Menezes (2001), pesquisas aplicadas geram conhecimentos para a

obtenção da solução de problemas específicos. Ao analisar os métodos e instrumentos empregados na avaliação das competências dos alunos, busca-se criar

conhecimentos aplicáveis na prática, visando resolver os desafios relacionados à ausência de uma metodologia robusta e confiável para a avaliação abrangente das competências profissionais dos graduandos.

O assunto será abordado de uma forma qualitativa não probabilística, não tendo foco no uso de métodos e técnicas estatísticas e de representatividade da amostra, visto o número ainda restrito e a heterogeneidade dos estudos sobre avaliação das competências na área da engenharia. As informações levantadas quanto aos métodos utilizados terão sua importância considerada com base na compreensão do problema enfrentado e não na quantidade de observações apresentadas (Malhotra & Birks, 2007). Esse tipo de abordagem permite uma maior autonomia (Gil, 2002) e busca uma compreensão mais profunda sobre os problemas e soluções (Malhotra, 2010) apontadas na literatura.

Considerando que ainda há poucos estudos sobre instrumentos de rigor metodológico e fácil reprodução que podem ser utilizados para a medição do desenvolvimento das competências dos alunos, este estudo no que diz respeito aos objetivos é classificado como exploratório. Busca-se obter maior familiaridade (Gil, 2002) e conhecimento do tema estudado. A obtenção de informações mais detalhadas sobre ele possibilitará a realização de demais tipos de pesquisas na área (Andrade, 2010).

Adotou-se como procedimento uma pesquisa bibliográfica, por meio de uma

revisão bibliográfica (Snyder, 2019), para a obtenção dos estudos que vem sendo realizados para elaboração e aplicação de métodos visando esse tipo de avaliação discente. Assim como, procurou-se também maiores esclarecimentos quanto às definições que estão sendo adotadas nesses estudos teóricos.

Método de trabalho

A pesquisa foi realizada fundamentada em estudos de revisão bibliográfica (e.g., Webster; Watson, 2002; Torracco, 2016), conforme as seguintes etapas: i) definição de critérios e bases de dados; ii) identificação dos estudos; iii) seleção dos estudos e, iv) análise dos estudos selecionados.

Na primeira etapa, foram definidas as palavras-chave e as bases de dados de pesquisa com base em estudos iniciais sobre o tema. A pesquisa foi realizada nas bases de dados Scopus, Science Direct e Google Scholar, tendo em vista que são bases de grande abrangência e que incluem os principais periódicos da área. Com o objetivo de encontrar trabalhos científicos sobre a avaliação de competências dos alunos e os métodos e instrumentos utilizados para tal, foram utilizadas as seguintes palavras-chave e suas combinações: competency-based evaluation, competencies assessment methods, competencies evaluation methods, competencies evaluation in engineering education e competencies evaluation in higher education. Essa revisão contemplou os estudos publicados até o término do ano de 2023.

Na segunda etapa, foram conduzidas buscas detalhadas para localizar trabalhos relevantes relacionados ao tópico de estudo. Após a identificação desses trabalhos, ocorreu uma leitura preliminar para avaliar a pertinência e a qualidade dos artigos selecionados. Então os trabalhos priorizados foram submetidos a uma leitura integral e detalhada, onde se procurou de forma minuciosa compreender o conteúdo, a metodologia adotada e os resultados apresentados. Além disso, foram explorados outros

trabalhos referenciados e considerados relevantes para a pesquisa em questão nos artigos selecionados, contribuindo para uma abordagem mais abrangente e aprofundada do tema.

Na fase final, foi realizada a síntese dos trabalhos por meio de sua leitura integral e análise dos seguintes aspectos mais destacados nos estudos: avaliação de competências, dificuldades da avaliação e principais métodos e ferramentas empregados na avaliação de competências.

RESULTADOS e DISCUSSÃO

Avaliação de competências

Além de encontrar formas adequadas de ensinar e aprender, também é necessário encontrar formas de avaliar a aprendizagem que satisfaçam as exigências de qualidade (Veraldo Jr., 2017). A literatura revisada é bastante coesa quanto a necessidade de desdobrar as competências que devem ser trabalhadas ao longo da formação acadêmica em unidades operacionais menores, as quais são conhecidas como resultados de aprendizagem (Kennedy, 2006; Malhotra et al., 2023). A partir do uso desses resultados é possível a correta avaliação do desenvolvimento obtido.

Para escrever esses resultados requeridos frequentemente utiliza-se a Taxonomia de Bloom, na qual a aprendizagem é dividida em seis níveis sucessivos: Conhecimento>Compreensão>Aplicação>Análise>Síntese>Avaliação (Kennedy,

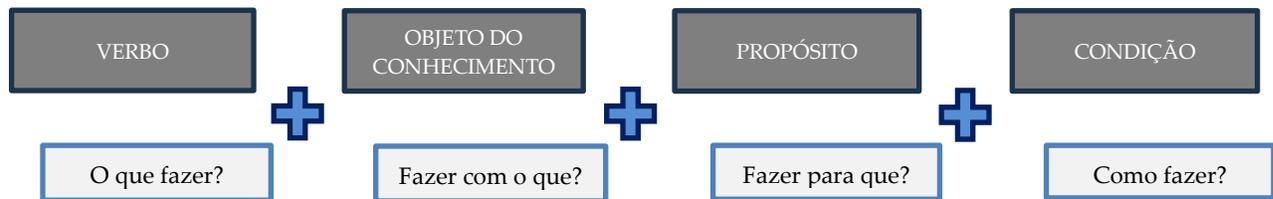
2006; Adam, 2006). Através desses níveis é possível compreender que a capacidade do indivíduo de atuar em um determinado nível depende da sua capacidade de atuar no nível anterior. Logo, para o aluno aplicar o conhecimento antes ele precisa ter acesso e compreender as informações necessárias relativas ao conhecimento que será aplicado (Kennedy, 2006). Segundo Adam (2006), esses resultados são declarações sobre o que se espera que um aluno saiba, compreenda ou demonstre no final de um período de aprendizagem.

Elaborar os resultados de aprendizagem requer atenção para transmitir corretamente o nível de aprendizagem esperado visto que não existe uma forma especificamente correta de escrever eles. Geralmente, se utiliza expressões simples e inequívocas, assim como verbos na voz ativa para os caracterizar, conforme as categorias de aprendizagem definidas pela taxonomia de Bloom: conhecimento, compreensão, aplicação, análise, síntese e

avaliação (Cajander; Daniels; Mcdermott; Von Konsky, 2011; Kennedy, 2006). Eles devem expressar o padrão mínimo aceitável dos conhecimentos, das habilidades e das atitudes essenciais de

desenvolvimento do estudante (Kennedy, 2006). No estudo de Tinoco et al. (2023), por exemplo, é demonstrada a elaboração desses resultados de aprendizagem conforme estrutura abaixo.

Figura 1. Estrutura dos Resultados de Aprendizagem



Com o uso dos resultados de aprendizagem a abordagem do ensino passa a ser centrada no aluno (Malhotra et al., 2023), diferentemente da abordagem tradicional centrada no professor. Eles consideram o processo de aprendizagem, ou seja, as realizações dos alunos, enquanto os objetivos do curso focam no ensino e nas intenções do professor (Adam, 2006). Considerando as características de praticidade, clareza e precisão os resultados de aprendizagem são instrumentos que quando utilizados na educação podem proporcionar maior transparência para os alunos, sociedade, empregadores e educadores, assim como maior qualidade ao ensino (Malhotra et al., 2023). Esses resultados impactam na concepção curricular, no desenvolvimento de cursos e plano de avaliação, visto que o primeiro passo crítico na revisão do currículo deve ser a definição dos resultados de aprendizagem (Tinoco et al., 2023).

Avaliar a aprendizagem dos alunos é essencial para verificar a eficácia do ensino fornecido, inclusive muitos órgãos de

regulação exigem que seja realizada essa avaliação (Baryla et al., 2012) e sabe-se que o desenvolvimento das competências profissionais está estritamente relacionado com a sua avaliação (Veraldo Jr., 2017). O corpo docente das instituições de ensino pode avaliar o progresso de aprendizagem dos alunos ao longo do curso por meio dos resultados de aprendizagem, os quais devem ser definidos para cada competência esperada no perfil do egresso (Tinoco et al., 2023). Então os docentes poderão fornecer um feedback embasado nesses resultados e a partir disso promover melhorias no desenvolvimento das competências dos graduandos (Tinoco et al., 2023).

A adoção dessa metodologia propicia que os alunos reflitam sobre a obtenção de competências profissionais ao longo de sua graduação, o que provavelmente muitos não fariam caso não fossem estimulados (Cajander; Daniels; Von Konsky, 2011). Outro resultado benéfico aos alunos é que dessa forma eles conseguem perceber que a aquisição das competências profissionais esperadas não ocorre instantaneamente, e

sim de forma evolutiva e aprofundada com o passar do tempo de estudo (Cajander; Daniels; Mcdermott; Von Konsky, 2011). Sendo que os alunos poderão progredir para o desenvolvimento de competências mais complexas somente após demonstrarem a obtenção do resultado de aprendizagem esperado na competência avaliada (Malhotra et al., 2023).

Dificuldades da avaliação de competências

A inclusão do desenvolvimento e avaliação de competências no currículo dos cursos de

engenharia, mesmo sendo promissora para a obtenção do sucesso profissional desses alunos, enfrenta inúmeros desafios, não sendo realizada adequadamente na maioria de suas tentativas. Ocorrem diversas dificuldades na sua implementação (Malhotra et al., 2023; Velasco-Martínez & Tójar-Hurtado, 2018). Os principais fatores de dificuldades enfrentadas abordados nesse estudo estão representados de forma simplificada na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1. Principais dificuldades enfrentadas no desenvolvimento e avaliação por competências e sugestões de melhorias apontadas nos estudos

Dificuldade	Sugestão de Melhorias	Referências
1. Falta rigor metodológico nas abordagens existentes	Mais estudos na área e aumento de publicações que evidenciem com clareza os métodos adotados.	Shuman et al., 2005
2. Divergência nas definições adotadas	Maior consenso quanto às definições adotadas; Maiores investigações sobre as definições utilizadas nos trabalhos da área e seus contextos; Explicitar as definições utilizadas nos estudos.	Shuman et al., 2005 Cruz et al., 2020
3. Consenso limitado na forma de ensinar e avaliar	Reformulação de algumas concepções pedagógicas; Atualização das metodologias de ensino praticadas.	Oliveira & Pinto, 2006
4. Escassez de recursos e guias para das suporte às mudanças	Desenvolvimento de projetos, pesquisas e programas na área da educação em nível superior; Construção coletiva de proposições e modelos eficientes a serem seguidos.	Oliveira & Pinto, 2006
5. Resistências pessoais das partes envolvidas	Atuação ativa dos docentes na elaboração curricular e no ambiente de aprendizagem;	Parashar & Parashar, 2012
	Formação adequada e desenvolvimento profissional eficiente; Correta interpretação do currículo adotado por parte dos docentes e discentes;	Silva & Tonini, 2018 Oliveira & Pinto, 2006
	Maior motivação e engajamento de todos os envolvidos na implementação das mudanças curriculares necessárias.	Tinoco et al., 2023 Malhotra et al., 2023

O processo de ensino-aprendizagem deve ser acompanhado de um processo contínuo de avaliação (Veraldo Jr., 2017), assim a aplicação de métodos de avaliação de competências requer monitoramento e acompanhamento dos alunos ao longo de todo o curso de graduação (Tinoco et al., 2023), também se faz necessário que haja rigor metodológico quanto aos componentes das competências (conhecimentos, habilidades, atitudes, valores etc.) que devem ser considerados (Velasco-Martínez & Tójar-Hurtado, 2018). Atualmente, a maioria das implementações de competências no ensino superior são apenas pontuais, individuais e desarticuladas, o que dificulta a formulação concreta de estratégias metodológicas com base no ensino por competências frente à metodologia tradicional adotada (Oliveira & Pinto, 2006). Para que haja certeza de que um instrumento metodológico é de fato válido dever haver uma robusta coleta de evidências e uma adequada formulação de como ele deve ser utilizado (Veraldo Jr., 2017). Geralmente os métodos melhores estruturados demandam grande esforço e tempo das partes envolvidas (Shuman et al., 2005).

O desenvolvimento de processos de avaliação das competências também enfrenta a falta de consenso entre as intuições de ensino, órgãos reguladores e os empregadores sobre as definições das competências e as formas de avaliar o domínio delas. Ocorre ainda que muitas competências profissionais estão interligadas com competências técnicas, o

que aumenta ainda mais as dificuldades de definição e avaliação. A problemática quanto as definições e os critérios adotados afeta a compreensão das avaliações realizadas e prejudica a replicação da metodologia utilizada na medição das competências. Os instrumentos de avaliação de competências desenvolvidas somente têm validade quando as descrições e os resultados de aprendizagem estabelecidos das competências medidas estão claramente expostos e passíveis de compreensão (Cruz et al., 2020).

Existe uma carência de estudos na literatura abordando metodologias bem definidas e instrumentos para avaliação de competências robustos e eficazes (Shuman et al., 2005). A falta de estruturas abrangentes que demonstrem como avaliar e monitorar de forma sistemática o desenvolvimento das competências requeridas dos alunos atinge o corpo docente, que é na maioria das vezes habituado a realizar a avaliação de conhecimento somente por meio de técnicas somativas de avaliação (Tinoco et al., 2023). Com isso, repensar os papéis dos professores e dos alunos em relação à avaliação é mais um dos obstáculos enfrentados, pois para o sucesso no desenvolvimento de competências nos alunos, os docentes devem estar aptos para aplicar esses novos instrumentos de avaliação e conseguir envolver os alunos nesse novo processo (Veraldo Jr., 2017).

A docência é o fator mais influente nas mudanças que ocorrem na educação, por isso a resistência e desconfiança que ocorre

por parte de alguns professores em relação ao ensino baseado em competências devem ser vencidos (Parashar & Parashar, 2012). É necessário que eles tenham clareza quanto as definições das competências avaliadas e consigam suprir suas dúvidas de como integrar, ensinar e avaliar as competências profissionais nas disciplinas que ministram (Cajander; Daniels; Mcdermott; Von Konsky, 2011), assim como divulgar os resultados obtidos e identificar as oportunidades de melhorias (Tinoco et al., 2023).

Métodos e instrumentos para a avaliação de competências

A avaliação realizada pode ser denominada diagnóstica quando é inicial ou pontual, formativa se está integrada aos demais processos da aprendizagem e fornece feedback, somativa quando mensura o nível de desempenho do aluno, normativa se realiza a comparação dos alunos através de uma norma padrão e criterial quando realiza a comparação do rendimento do aluno com algum critério de atuação esperado (Veraldo Jr., 2017; Malhotra et al., 2023).

Diversas abordagens (Cruz et al., 2020; Tinoco et al., 2023) são encontradas na literatura para realizar o acompanhamento do desenvolvimento das competências requeridas dos futuros profissionais engenheiros, e fica evidente o papel fundamental que a avaliação desse desenvolvimento cumpre. É muito importante que as partes envolvidas no processo de ensino-aprendizagem expressem e compreendam até que ponto os resultados de aprendizagem pré-

estabelecidos e esperados foram alcançados, pois a avaliação pode ser considerada a força motriz da aprendizagem.

Escolher as ferramentas para avaliação das competências requer cuidado para que de fato as opções escolhidas consigam medir e expressar o que se quer analisar e avaliar, fornecendo resultados verificáveis e conhecimentos comprovados. A finalidade da avaliação sempre deve ser levada em conta ao determinar qual o método que será utilizado, e a aplicação cuidadosa da avaliação pode revelar diferentes aspectos das habilidades profissionais desenvolvidas (Cajander; Daniels; Mcdermott; Von Konsky, 2011).

Alguns métodos costumam ser mais utilizados para avaliar as competências desenvolvidas pelos discentes (Cruz et al., 2020) e alguns deles podem inclusive ser utilizados como ferramentas de aprendizagem (Veraldo Jr., 2017). Eles variam de acordo com diversos critérios, como por exemplo, precisão, validade, confiabilidade, praticidade de aplicação, tempo e custo de implementação (Cruz et al., 2020). Inclusive, a literatura indica a estratégia de combinar diferentes métodos de avaliação em alguns casos, para a obtenção de informações mais abrangentes e com diferentes perspectivas para uma maior compreensão da realidade (Cruz et al., 2020).

Dentre os principais métodos estão as observações, os testes, as entrevistas, as reflexões, os portfólios, os questionários e as rubricas. Sendo que os mais utilizados são os questionários para avaliar a

qualidade do ensino e caracterizar a população estudantil, e as rubricas para avaliar os alunos e fornecer feedback formativo (Cruz et al., 2020; Malhotra et al., 2023). Na tabela 2, tem-se uma compilação dos instrumentos levantados durante essa revisão e de suas principais características.

Tabela 2. Métodos para avaliação de competências e suas principais características

Método	Características	Avaliação	Referências
1. Observações	Capturam atitudes e comportamentos de forma autêntica; Demandam tempo e recurso, assim como treinamento dos avaliadores; Podem usar métodos de amostragem para reduzir a quantidade de tempo necessária para observar com precisão eventos ou atitudes.	Medições não invasivas referentes às ações dos alunos (comportamento, frequência, duração etc.); Fornecem dados in situ do que está ocorrendo.	Shuman et al., 2005 Cruz et al., 2020
2. Testes	Medem as habilidades em momentos pontuais, devido a isso é recomendado o uso de pré e pós-teste para garantir a validade do método; Testes validados em muito estudos, como o Teste Torrance de Pensamento Criativo requerem avaliadores treinados e possui alto valor.	São escritos e geralmente na forma de prova de conceito (somativo); Frequentemente usados para medir inovação e criatividade.	Cruz et al., 2020
3. Entrevistas	Permitem flexibilidade e profundidade das respostas obtidas; Demandam tempo e treinamento dos avaliadores.	Entrevistador faz perguntas a um indivíduo ou grupo de entrevistados; Oferecem informações abrangentes sobre o desenvolvimento de competências dos alunos, pois são mais flexíveis e propiciam a obtenção de resultados mais ricos em detalhes.	Cruz et al., 2020
4. Reflexões	Facilitam o diálogo entre professores e alunos; Propiciam <i>feedback</i> de mão dupla; Fornecem informações quanto a qualidade da experiência dos alunos; Baixa frequência de uso devido provavelmente pelo alto tempo e trabalho exigidos.	São obtidas reflexões e descrições sobre métodos de aprendizagem, por exemplo.	Cruz et al., 2020
5. Portfólios	Utilizados para a coleta e a apresentação de evidências; Facilitam o processo de organização; Baixa frequência de uso devido provavelmente pelo alto tempo e trabalho exigidos.	Capazes de avaliar níveis cognitivos, afetivos e comportamentais; Oferecem informações abrangentes e são propícios para avaliar habilidades profissionais; Fornecem eficiência à comunicação; Utilizados principalmente para apoiar os resultados obtidos por outros métodos.	Shuman et al., 2005 Cruz et al., 2020 Malhotra et al., 2023

... continuación **Tabela 2. Métodos para avaliação de competências e suas principais características**

Método	Características	Avaliação	Referências
6. Questionários	Bastante utilizados para avaliação da qualidade do ensino; Possibilitam a caracterização da população estudantil; Fornecem respostas conforme percepções individuais; Conduzem a melhorias individuais (autoavaliação); Auxiliam no monitoramento de grupos de trabalho (avaliação por pares); São de fácil desenvolvimento; Exigem pouco tempo de administração; Realizados em momentos pontuais, logo dificultam a captura das mudanças que ocorrem ao longo do processo de ensino.	Coletam informações dos entrevistados através de um conjunto de perguntas escritas que podem ser usadas para autoavaliação ou avaliação de pares; Utilizados principalmente quando o tempo é limitado e grandes amostras estão presentes para avaliar cursos e a aprendizagem dos alunos, e caracterizar as habilidades das populações estudantis; A grande maioria dos questionários utiliza a escala Likert; Recomenda-se a utilização de pré e pós-questionários, permitindo dessa forma observar a ocorrência de alterações que possam ocorrer; A menos que o tamanho da amostra seja grande o suficiente para ter resultados estatisticamente significativos, recomenda-se o uso desse método em combinação com outros métodos pois eles relatam autopercepções subjetivas e preconceitos individuais.	Cruz et al., 2020
7. Rubricas	Verificam o desempenho e realizam a pontuação de forma contínua; Listam os resultados de aprendizagem desejados; Descrevem os níveis de desempenho esperados para cada competência; Avaliam a qualidade do processo como um todo; Oferecem avaliações precisas pois utilizam escalas de pontuação padronizadas e validadas; Podem ser utilizadas para avaliações multidimensionais; Proporcionam confiabilidade e transparência ao processo de avaliação; Diminuem a ocorrência de subjetividades durante a avaliação.	Muito utilizadas na avaliação de competências dos discentes; Podem fornecer tanto avaliação somativa quanto feedback formativo; Proporcionam medições sistemáticas das habilidades adquiridas; Reduzem inconsistências na avaliação pois utilizam critérios de mensuração claros, delimitados e objetivos; Expressam o nível de desempenho do aluno em competências pré-definidas; Podem ter resultados otimizados pelo uso de mais de um avaliador; São utilizadas para avaliar amostras tanto pequenas quanto grandes.	Tinoco et al., 2023 Shuman et al., 2005 Cruz et al., 2020 Malhotra et al., 2023

O uso de observações permite capturar atitudes e comportamentos autênticos dos alunos, porém requer tempo e treinamento dos avaliadores. Uma alternativa apresentada por alguns estudos para melhorar a relação custo-eficácia do método de observação é o uso de observações por amostragem, as quais em vez de ocorrerem em tempo integral ocorrem em intervalos flutuantes (Cruz et al., 2020), diminuindo assim o tempo necessário para observar com precisão (Shuman et al., 2005).

Os testes geralmente são aplicados na forma escrita com avaliação por conceitos, é comum o uso deste tipo de método para a mensuração de competências como a inovação e a criatividade. Recomenda-se a aplicação de pré e pós-teste para garantir a validade do Método (Cruz et al., 2020). Já as entrevistas permitem que haja flexibilidade e profundidade nas respostas dadas pelos graduandos, porém assim como as observações, exigem que os avaliadores sejam adequadamente treinados e demandam tempo (Cruz et al., 2020).

Nas reflexões os alunos refletem e descrevem a aprendizagem de uma determinada competência. Isso pode ocorrer, por exemplo, por meio de diários de aprendizagem, os quais podem ser tanto em papel quanto eletrônicos. O uso de instrumentos eletrônicos facilita o diálogo entre professores e alunos, oferecendo feedback útil de mão dupla, pois através dos comentários dos alunos quanto à oferta e adequação das atividades realizadas de ensino os docentes podem obter, por

exemplo, insights sobre o meio social, econômico e intelectual em que os alunos estão inseridos, propiciando dessa forma maiores informações sobre a qualidade da experiência do aluno, indo além das preocupações acadêmicas (Cajander; Daniels; Mcdermott; Von Kinsky, 2011).

Portfólios são consideradas boas ferramentas para realizar a coleta, a organização e a apresentação de determinadas evidências (Malhotra et al., 2023). Mesmo que as reflexões e os portfólios sejam instrumentos menos utilizados, alguns estudos relatam resultados significativos quanto à utilização deles. Assim como ocorre com as observações, as reflexões e os portfólios geralmente são usados como complementares de métodos como os testes, os questionários e as rubricas (Cruz et al., 2020).

Essa estratégia de combinar o uso de diferentes métodos de avaliação para medir um conjunto de critérios de uma ou mais competências possibilita uma maior compreensão da realidade através da obtenção de informações mais abrangentes e de diferentes perspectivas. Um exemplo dessa combinação é o uso de rubricas junto com entrevistas, em que o avaliador consegue realizar uma mensuração clara, delimitada e objetiva através dos níveis descritos na rubrica e obtém informações mais abrangentes e detalhadas por meio da entrevista sobre o desenvolvimento de competências dos alunos (Cruz et al., 2020). Os questionários, geralmente são utilizados na autoavaliação e na avaliação por pares dos alunos, onde esses respondem um

conjunto de perguntas escritas conforme suas próprias percepções (Cruz et al., 2020). Através do uso deles é possível monitorar o funcionamento de um grupo de trabalho e conduzir a uma melhoria do desempenho individual de cada participante, assim como cada aluno poderá se conscientizar das suas capacidades, pontos fortes e limitações por meio da autoavaliação e autorreflexão que são propiciadas (Veraldo Jr., 2017). A ação de fornecer comentários sobre o trabalho feito por colegas oferece aos discentes a oportunidade de desenvolvimento da capacidade de fazer julgamentos objetivos, dentre outros benefícios (Cajander; Daniels; Mcdermott; Von Kinsky, 2011).

De maneira geral, esses instrumentos são de fácil desenvolvimento e exigem pouco tempo de administração, porém são realizados em momentos pontuais e assim acabam deixando passar os efeitos das mudanças que ocorrem ao longo do processo de ensino. Uma maneira encontrada por alguns estudos para atenuar isso é através da aplicação desses questionários no início e no final do curso. A pergunta mais comum encontrada nos questionários de avaliação de competências é sobre como o curso ou disciplina está contribuindo para o desenvolvimento de uma dada competência (Cruz et al., 2020).

As rubricas são métodos contínuos de pontuação e verificação de desempenho, que listam e definem os resultados de aprendizagem desejados e que descrevem os níveis de desempenho esperados para cada competência do aluno (Tinoco et al.,

2023; Shuman et al., 2005; Cruz et al., 2020). Elas são projetadas para avaliar a qualidade de um processo e não apenas a qualidade de um produto. Por serem guias detalhados oferecem avaliações precisas dos alunos (Velasco-Martínez & Tójar-Hurtado, 2018), podem ser utilizadas para avaliação de desempenhos multidimensionais e aumentam a confiabilidade do processo de avaliação, pois os avaliadores são orientados a avaliar conforme os mesmos aspectos, diminuindo assim fatores como subjetividades, arbitrariedades e inconsistências do processo de medição de competências (Panadero & Jonsson, 2013).

A escala de pontuação utilizada para verificação do nível de desenvolvimento de competências pré-definidas para os alunos na rubrica deve ser padronizada e validada (Cruz et al., 2020). Ao elaborar uma rubrica de avaliação deve-se levar em conta o número de critérios essenciais que deverão ser utilizados, pois problemas comuns que ocorrem na elaboração de uma rubrica são a sua longa extensão e a dificuldade em descrever os níveis de qualidade para cada um dos critérios de desempenho. Esses últimos devem representar metas amplas de aprendizagem e não características de uma tarefa específica (Baryla et al., 2012).

É importante que cada critério represente um atributo chave da habilidade que está sendo avaliada, e para cada critério haja uma única competência correspondente, para que assim o instrumento seja de fato eficaz, eficiente e informativo. Rubricas demasiadamente longas e detalhadas são onerosas para os avaliadores, e podem

ocasionar perda de qualidade nas informações obtidas e desvios na avaliação dos componentes que são críticos e que determinam se os resultados de aprendizagem e as habilidades desejadas foram de fato alcançados (Baryla et al., 2012).

Um processo de elaboração de rubricas de avaliação de competências de alunos de engenharia é proposto por Tinoco et al. (2023) por meio de um método estruturado nas seguintes etapas: primeiramente são detalhados os resultados de aprendizagem esperados para cada um dos três elementos de competências (conhecimentos, habilidades e atitudes); após são definidos os descritores para quatro níveis de desempenho (iniciante, em desenvolvimento, satisfatório e avançado) referentes a cada resultado de aprendizagem; e por fim são estabelecidas as disciplinas em que cada resultado de aprendizagem será avaliado.

Além de serem úteis para as avaliações somativas, as rubricas também podem ser utilizadas para que os avaliadores forneçam aos alunos feedback individual (Cruz et al., 2020) dos pontos detectados como fortes e fracos do seu desempenho (Cajander et al., 2011), e os estudantes podem tomar decisões pessoais sobre as ações que deverão adotar com base nos resultados de aprendizagem avaliados e informados, aumentando dessa forma a

autonomia de aprendizagem (Shuman et al., 2005).

Os professores podem utilizar as rubricas como um guia no processo de ensino e aprendizagem, inclusive eles devem apresentar elas aos alunos, para que assim esses entendam o que é esperado como resultados de aprendizagem ao final da atividade ou disciplina e como serão avaliados (Tinoco et al., 2023). Inclusive há estudos que mostram que muitos alunos acabam internalizando os critérios utilizados na rubrica de avaliação e os utilizando também para a sua autoavaliação. Os alunos se beneficiam de melhorias como maior transparência nos requisitos das tarefas, redução da ansiedade quanto as suas notas, melhora da autoeficácia e apoio na autorregulação no planejamento do trabalho quando a avaliação por rubricas é adotada (Panadero & Jonsson, 2013). Recomenda-se também o uso de rubricas estruturadas pelos alunos para avaliação dos seus colegas e para autoavaliação, fornecendo assim múltiplas fontes de evidências para que o professor determine o nível de desempenho do aluno em determinada competência e identifique as principais lacunas curriculares existentes e as melhorias que poderão ser desenvolvidas de forma alinhada à educação baseada em competências (Tinoco et al., 2023; Malhotra et al., 2023).

CONCLUSÕES

As habilidades que os profissionais engenheiros precisam demonstrar no atual cenário da engenharia são cada vez mais complexas, pois representam uma combinação de conhecimento técnico, experiência prática e habilidades interpessoais. A partir disso surge a necessidade de repensar os métodos de ensino e avaliação dos discentes dos cursos de engenharia. O presente trabalho teve como objetivo principal realizar a identificação dos métodos de avaliação discente baseado na educação por competências.

Através de uma revisão bibliográfica foram levantados estudos que vem sendo desenvolvidos para elaboração e aplicação de métodos para avaliação das competências dos alunos, assim como procurou-se esclarecer as definições adotadas nos estudos da área. As competências profissionais definidas como a capacidade de executar tarefas específicas com o nível de competência exigido, na área da engenharia podem ser caracterizadas pela capacidade de resolver problemas devidamente contextualizados através da articulação dos conhecimentos, habilidades e atitudes.

Devido a isso, instituições de ensino, órgãos reguladores, associações de acreditação, conselhos profissionais e demais partes interessadas procuram encontrar um perfil de competências para os egressos que atenda as expectativas e necessidades do mercado de trabalho e da

sociedade. O presente estudo evidenciou os métodos que são destacados atualmente para avaliar as competências desenvolvidas e expressou as principais características desses métodos, assim como o tipo de avaliação fornecida por cada um deles. Também foram reveladas as principais dificuldades apontadas na literatura atual que ocorrem ao implementar esse tipo de avaliação e compiladas as principais sugestões que os autores da área apontam como melhorias que podem ocorrer no cenário atual.

A fim de realizar uma avaliação com maior precisão, praticidade, transparência e menor subjetividade, a definição de resultados de aprendizagem a partir do desdobramento da competência a ser avaliada, principalmente das transversais, se revela bastante promissora, pois através disso fica claro a todos o que é esperado que os alunos saibam, compreendam e demonstrem no final de um período de aprendizagem, definindo assim um padrão mínimo aceitável e metas de aprendizagem.

O monitoramento de como está ocorrendo o desenvolvimento das competências requeridas dos discentes pode ocorrer por meio de métodos como os testes, as observações, as entrevistas, os portfólios, as reflexões, os questionários e as rubricas. Considerando que essas ferramentas variam em termos de precisão, validade, confiabilidade, praticidade de aplicação, tempo e custo de implementação, é

necessário primeiramente que seja determinada a principal finalidade da avaliação que será realizada, pois diferentes aspectos das habilidades profissionais desenvolvidas podem ser revelados em função do instrumento adotado, ou seja, é preciso garantir que a opção escolhida meça e expresse o que se quer analisar e avaliar. Em alguns casos, inclusive tem-se a recomendação de combinar mais de um método para a obtenção de uma maior compreensão da realidade a ser avaliada e a extração dos pontos fortes e minimização dos pontos fracos de cada método, como por exemplo o uso de rubricas juntamente com entrevistas onde se obtém a redução das inconsistências na avaliação, pois os critérios de mensuração são claros, delimitados e objetivos nas rubricas e uma maior abrangência das informações alcançadas proporcionadas pelas entrevistas, as quais são mais ricas em detalhes e flexíveis.

Dentre os métodos mais utilizados para a avaliação de alunos estão as rubricas apontadas em aproximadamente 50% dos estudos identificados nesse trabalho, pois elas podem fornecer tanto avaliação somativa quanto feedback formativo. Nelas os resultados de aprendizagem relacionados à competência são listados, os níveis de desempenho para cada resultado de aprendizagem são claramente descritos e são utilizadas escalas de desempenho padronizadas, assim proporcionando uma maior confiabilidade e diminuindo subjetividades e inconsistências no processo de avaliação de competências. Os

avaliadores conseguem por meio delas avaliar sob os mesmos aspectos, utilizando-as como guias detalhados para a realização da avaliação dos alunos. Outro fator que colabora com a adoção de rubricas como ferramenta de avaliação é que o uso delas permite a verificação do desempenho dos discentes de forma contínua, pois elas são projetadas para avaliar a qualidade de um processo e não apenas a qualidade de um produto.

Após a realização deste estudo, ficou evidente que ainda faltam metodologias bem definidas e instrumentos para avaliação de competências robustos e eficazes. Avaliar e monitorar de forma sistemática o desenvolvimento das competências requeridas dos alunos é um grande desafio enfrentado pelo ensino atualmente, entraves como a insegurança do corpo docente em relação a novos métodos de avaliação, a escassez de estruturas abrangentes, a falta de consenso sobre definições das competências e formas de avaliá-las e a quantidade restrita de material para dar suporte às mudanças curriculares dificultam a implementação articulada e contínua do desenvolvimento e avaliação de competências no ensino superior, assim como sua integração dentro sistema de avaliação tradicional.

É importante destacar que este trabalho de revisão abordou principalmente estudos relacionados à avaliação de competências profissionais em cursos de engenharia, a fim de complementar esse estudo seriam válidos trabalhos futuros quanto a integração da avaliação de competências aos sistemas tradicionais de apropriação de

conceitos em disciplinas dos cursos de engenharia, assim como o desenvolvimento de sistemas para monitoramento e acompanhamento do desenvolvimento de competências na perspectiva dos diversos stakeholders do curso. Permitindo no futuro a elaboração

de rubricas abrangentes, porém objetivas, para evitar perdas na qualidade das informações obtidas e desvios na avaliação dos componentes que de fato são críticos para a obtenção das competências profissionais desejadas.

REFERÊNCIAS

- ABEPRO Associação Brasileira de Engenharia de Produção (2023). [Online]. <https://abepro.org.br/interna.asp?p=399&m=424&ss=1&c=362>
- Adam, S. (2006). *An introduction to learning outcomes*. <https://pedagogie-universitaire.blogs.usj.edu.lb/wp-content/blogs.dir/43/files/2013/03/An-introduction-of-learning-outcomes.pdf>
- Badcock, P.; Pattison, P. & Harris, K. (2010). Developing generic skills through university study: a study of arts, science and engineering in Australia. *Higher education*, 60(4), 441-458. <https://doi.org/10.1007/s10734-010-9308-8>
- Baryla, E.; Shelley, G. & Trainor, W. (2012). Transforming Rubrics Using Factor Analysis. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 17(1), 4, 1-7. <https://doi.org/10.7275/5nt2-g458>
- Buyurgan, N. & Kiassat, C. (2017). Developing a new industrial engineering curriculum using a systems engineering approach. *European Journal of Engineering Education*, 42(6), 1263-1276. <https://doi.org/10.1080/03043797.2017.1287665>
- Cajander, Å., Daniels, M. & von Kinsky, B. (2011). Development of professional competencies in engineering education. In *41st ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference (FIE 2011)*, pp. S1C-1-S1C-5. <https://doi.org/10.1109/FIE.2011.6143003>
- Cajander, Å.; Daniels, M.; McDermott, R. & Von Kinsky, B. (2011). Assessing professional skills in engineering education. In *ACE '11: Proceedings of the Thirteenth Australasian Computing Education Conference*, 114, pp. 145-154. Australian Computer Society. <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.5555/2459936.2459954>
- Camargo Jr., B. C., de Almeida Jr, J. R., & Cugnasca, P. S. (2015). Desafios da avaliação continuada em um curso de engenharia. *EccoS-Revista Científica*, (37), 215-232. <https://doi.org/10.5585/eccos.n37.3679>
- Carvalho, L. D. A., & Tonini, A. M. (2017). Uma análise comparativa entre as competências requeridas na atuação profissional do engenheiro contemporâneo e aquelas previstas nas diretrizes curriculares nacionais dos cursos de Engenharia. *Gestão & Produção*, 24, 829-841. <https://doi.org/10.1590/0104-530X1665-16>
- Cruz, M. L., Saunders-Smiths, G. N., & Groen, P. (2020). Evaluation of competency methods in engineering education: a systematic review. *European Journal of Engineering Education*, 45(5), 729-757. <https://doi.org/10.1080/03043797.2019.1671810>
- Kennedy, D. (2006). *Writing and using learning outcomes: a practical guide*. University College Cork. <https://hdl.handle.net/10468/1613>
- Malhotra, N. & Birks, D. (2007). *Marketing Research: An Applied Approach*. Prentice Hall.

- Malhotra, N. K. (2010). *Marketing Research: An Applied Orientation (6th ed.)*. Pearson Prentice Hall.
- Malhotra, R., Massoudi, M. & Jindal, R. (2023). Shifting from traditional engineering education towards competency-based approach: The most recommended approach-review. *Education and Information Technologies*, 28, 9081–9111. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11568-6>
- MEC, Brasil (2019). *Resolução nº 2, de 24 de abril de 2019*. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Seção 1, 43.
- Meixell, M. J., Buyurgan, N., & Kiassat, C. (2015). Curriculum innovation in industrial engineering: Developing a new degree program. In *2015 ASEE Annual Conference & Exposition* (pp. 26-436). <https://doi.org/10.18260/p.23775>
- Oliveira, V. F., Pinto, D. P. (2006). Educação em Engenharia como área do conhecimento. Em *Anais do XXXIV Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*, 1256-1267. https://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/13/artigos/12_85_357.pdf
- Panadero, E. & Jonsson, A. (2013). The use of scoring rubrics for formative assessment purposes revisited: A review. *Educational research review*, 9, 129-144. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.01.002>
- Parashar, A. & Parashar, R. (2012). Innovations and curriculum development for engineering education and research in India. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 56, 685-690. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.704>
- Raposo-Rivas, M. & Matínez-Figueira, E. (2014). Evaluación educativa utilizando rúbrica: un desafío para docentes y estudiantes universitarios. *Educación y Educadores*, 17(3), 499-513. <https://doi.org/10.5294/edu.2014.17.3.6>
- Shuman, L.; Besterfield-Sacre, M. & McGourty, J. (2005). The ABET “professional skills” — Can they be taught? Can they be assessed. *Journal of engineering education*, 94(1), 41-55. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00828.x>
- Silva, J. C., & Tonini, A. M. (2018). O processo educativo baseado em problemas e a formação de competências do engenheiro. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 11(3), 364-385. <https://doi.org/10.3895/rbect.v11n3.6680>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of business research*, 104, 333-339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Tinoco, M. A. C., Paslauski, C. A., Brunetto, V. T., de Paula, I. C. (2019). Modernização do ensino superior em engenharia: Uma proposta para o curso de engenharia de produção da UFRGS. Em *Anais do XLVII COBENGE*.
- Tinoco, M. C.; Nodari, C. T., Rabelo, L., de Moura, P. K., Marcon, A. & Danilevicz, A. D. M. F. (2023). Proposition of a Method to Monitor Higher Education Students' Competence Development through Assessment Rubrics. In *2023 ASEE Annual Conference & Exposition*.
- Torraco, R. J. (2016). Writing integrative literature reviews: Using the past and present to explore the future. *Human resource development review*, 15(4), 404-428. <https://doi.org/10.1177/1534484316671606>
- Velasco-Martínez, L. C. & Tójar-Hurtado, J. C. (2018). Competency-Based Evaluation in Higher Education--Design and Use of Competence Rubrics by University Educators. *International Education Studies*, 11(2), 118-132. <https://doi.org/10.5539/ies.v11n2p118>
- Veraldo Jr, L.G. (2017). *Avaliação completa das competências do engenheiro no projeto interdisciplinar do curso de Engenharia de Produção [Tese doutorado]*. Universidade

Estadual

<http://hdl.handle.net/11449/152076>

Webster, J., & Watson, R. T. (2002). Analyzing the past to prepare for the future: Writing a

Paulista.

literature review. MIS quarterly, 26(2), 13-23.

<https://www.jstor.org/stable/4132319>

Autoras

Letícia Guterres Duarte. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGEP/UFRGS). Graduada em Engenharia Química e especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho. Atualmente pesquisa na área de desenvolvimento e avaliação de competências dos discentes. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil.

ORCID: <http://orcid.org/0009-0007-9738-7334>

Email: leticiaguterresduarte@gmail.com

Maria Auxiliadora Cannarozzo Tinoco. Professora do Departamento de Engenharia de Produção e Transportes da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Atualmente coordena a Proposta Institucional de Modernização implementada pela Escola de Engenharia, no âmbito do Programa de Modernização da Graduação, promovido pela CAPES e Comissão Fulbright. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2941-1693>

Email: maria@producao.ufrgs.br

Recibido: 13-07-2023

Aceptado: 20-12-2023

Reconocimiento de símbolos matemáticos manuscritos con técnicas de cadenas ocultas de Markov

Recognition of handwritten mathematical symbols using hidden Markov models techniques

Luis Angel Rodríguez, Nathylin C. Mendoza, Franzyuri Hernández F.

<https://doi.org/10.54139/riiant.v8i31.599>

Palabras clave: cadenas ocultas de Markov, preprocesamiento, extracción de características, entrenamiento, reconocimiento de escritura

Key words: hidden Markov models, preprocessing, feature extraction, training, handwriting recognition

RESUMEN

La presente investigación se centra en desarrollar una metodología que permita reconocer símbolos matemáticos manuscritos, de forma fuera de línea (off-line), utilizando cadenas ocultas de Markov, que pueda identificar los caracteres independientemente del escritor, para este fin se desarrolló un programa en el MatLab. Para el desarrollo de este sistema se tienen dos algoritmos fundamentales: Entrenamiento e Identificación. En el primero, deben adquirirse muestras de escritura, preprocesarlas, extraer sus características, para finalmente calcular las probabilidades de emisión y transición de las observaciones, así se tienen los parámetros de una cadena oculta de Markov. En el segundo algoritmo se adquiere la imagen del carácter a identificar, para seguir con los mismos pasos del proceso anterior, se calcula para cuál de los modelos almacenados se obtuvo mayor log-verosimilitud. La novedad de la investigación yace en su mayoría, en la forma en que se tomaron las características de las imágenes, teniendo como base una técnica utilizada para el aprendizaje de la escritura en humanos.

ABSTRACT

The present research focuses on the development of a methodology that allows the recognition of handwritten mathematical symbols, off-line, using hidden Markov chains that can identify the characters independently of the writer, for this purpose a program has been developed in MatLab. For the development of this system there are two basic algorithms: Training and Identification. In the first one, it is necessary to acquire writing samples, to preprocess them, to extract their characteristics and, finally, to calculate the emission and transition probabilities of the observations in order to obtain the parameters of a hidden Markov chain. In the second algorithm, the image of the character to be identified is acquired, to continue with the same steps of the previous process, it is calculated for which of the stored models the maximum log-likelihood has been obtained. The novelty of the research lies mainly in the way in which the features of the images were acquired, based on a technique used for learning human writing.

INTRODUCCIÓN

El Reconocimiento de Textos Manuscritos, y en su unidad más básica, el Reconocimiento Óptico de Carácter, también, citado en algunos textos como OCR según sus siglas en inglés (*Optical Character Recognition*), es una línea de investigación de interés entre científicos de varias áreas. En el mercado, se consiguen productos que pueden ser utilizados para dicho reconocimiento (Gadea, 2007).

Para los seres humanos es aparentemente sencillo identificar patrones, por ejemplo, se pueden reconocer e interpretar rostros, voces, animales, objetos, paisajes, entre otras cosas, ya sea en fotos, pinturas o en la realidad. La humanidad tiene esa capacidad, aunque su trasfondo sea un misterio (Salcedo, 2006).

Según Toselli (2004), hacer que las máquinas reconozcan patrones es considerado un problema reto. El principal objetivo del reconocimiento de patrones es que las máquinas en un futuro próximo sean capaces de imitar a los seres humanos y otros seres vivos en la identificación, descripción y agrupación de patrones.

Por otro lado, al ser el lenguaje universal de las ciencias, las matemáticas dan fe de su importancia, ya que, éstas son una parte esencial de la mayor porción de la literatura científica y técnica. Esta literatura contiene amplias notas de símbolos de expresiones matemáticas que no son fácilmente reconocibles como texto plano. Además, las notaciones matemáticas forman parte del lenguaje visual. Éste se define como un sistema de comunicación que utiliza

elementos visuales, como gráficos (Chang, 1986). Se puede comprender por sus gráficos bidimensionales o tridimensionales en lugar de hacerlo por el texto lineal (Kremer, 1998). Debido a sus elementos visuales, el reconocimiento de los símbolos de expresiones matemáticas se convierte en una tarea difícil. Además, las expresiones matemáticas son una estructura bidimensional de los símbolos matemáticos (Wang y Shan, 2020), que podrían difundir conocimientos en la literatura técnica y científica. Por lo tanto, la identificación y realización de estas notaciones matemáticas se convierten en una esencia natural de gran importancia para las ingenierías y ciencias afines.

El texto manuscrito presenta muchas variaciones según el escritor, es por ello que el sistema no debe estar restringido a un solo tipo de escritura, ya que, le quitaría la naturalidad a la toma de los datos de tal manera que se busca elaborar sistemas que reconozcan los textos manuscritos independientemente de la persona y su estilo de escritura. Actualmente, se dispone de varias maneras de abordar este problema en el ámbito de las matemáticas, muchos investigadores utilizan redes neuronales (Wang y Shan, 2020), entre otras técnicas, sin embargo, en esta investigación se estudiará a partir de cadenas ocultas de Markov.

Una cadena oculta de Markov es un modelo estadístico en el que se asume que el sistema a modelar es un proceso de Markov de parámetros desconocidos. El

objetivo es determinar los parámetros desconocidos de la cadena oculta de Markov que rigen los estados del proceso a partir de los datos observados. Las cadenas ocultas de Markov se han utilizado

frecuentemente como parte del reconocimiento del habla y de caracteres del lenguaje escrito. Estas estrategias han aparecido también en el reconocimiento de caracteres matemáticos (Rabiner, 1989).

METODOLOGÍA

En este trabajo se propone una metodología para el reconocimiento de símbolos matemáticos (Méndez, 2016, y, Xie, 2007), haciendo uso de diferentes técnicas de procesamiento, una de las principales hace uso de los modelos de cadenas ocultas de Markov y su aplicación al Reconocimiento Óptico de Carácter.

El estudio se divide en tres fases: preprocesamiento, entrenamiento e

identificación; estos se plasman en este escrito con detalles, incluyendo sus resultados. El principal aporte de este trabajo se encuentra en la fase de preprocesamiento específicamente la técnica introducida para la extracción de características, la cual permite obtener de forma eficaz un conjunto de caracteres procesados sobre los cuales se aplicará el modelo de cadenas ocultas de Markov para el reconocimiento.

RESULTADOS

Fase I: Preprocesamiento

En el proceso de entrenamiento se sigue la metodología utilizada por Mendoza (2019). Para desarrollar esta fase se completaron las siguientes etapas: adquisición de la muestra, estandarizado y extracción de características.

Adquisición de la muestra

Como se trabajó en un sistema fuera de línea (off-line), se procedió a adquirir muestras de escritura de diferentes personas. Como se puede observar en la figura 1, los símbolos matemáticos utilizados para esta investigación son: \int , Σ , Π , $>$, $<$, $=$, \geq , \leq , $+$, $-$, \times , \div , \cap y \cup . En total se consideraron catorce símbolos para el desarrollo de la investigación.

La población total fue dada por grupos intactos provenientes de dos secciones del curso de matemáticas 2 (49 y 51 estudiantes, respectivamente) y 16 profesores del departamento de Matemática, para un total de 116 sujetos. De esta población se obtuvo una muestra de 60 voluntarios, para obtener el tamaño de dicha muestra se recurrió según Palella y Martins, (2012), a la fórmula para poblaciones finitas dada por la expresión $n = \frac{N}{e^2(N-1)+1}$ donde: n := tamaño de la muestra, N := tamaño de la población y e := error de estimación. Es de hacer notar que, para el cálculo del tamaño de la muestra se asumió un $e=0.09$

Cada voluntario proporcionó una muestra de 14 caracteres con 7 repeticiones para un total de 98 muestras por sujeto. Para los 60 voluntarios se tiene un total de 6720 muestras para la investigación.

Se utilizó la técnica de la partición en dos grupos (Hold out en inglés) una muestra para el entrenamiento y otra para la validación. Es usual con esta técnica dividir la muestra utilizando las proporciones 70:30 u 80:20. Si la muestra de entrenamiento es pequeña el error de clasificación o predicción del método es muy grande, por otra parte, si la muestra de validación es pequeña la varianza del error del método de estimación podría ser muy grande, (Sarunas y Anil, 1991). Con el fin de mantener un balance entre los dos errores, en este trabajo, se dividieron los datos en una proporción 50:50 para el entrenamiento y las pruebas, respectivamente. Esto significa que la mitad de los datos se utiliza para entrenar el modelo, mientras que la otra mitad se utiliza para probar su rendimiento. La ventaja de este enfoque es que permite evaluar el rendimiento del modelo en un conjunto de datos separado, lo que permite evaluar su capacidad de generalización en un conjunto de datos nuevos, ver (Jamilu y Ogwueleka, 2019).

Los 60 voluntarios tienen edades comprendidas entre 12 y 68 años, con una media de 26 años, 38 fueron de sexo masculino y 22 de sexo femenino, 3 de los voluntarios son zurdos.

A cada persona se le solicitó 7 repeticiones por carácter, y al ser la plantilla realizada de forma manuscrita se consideró la

primera fila de la misma como parte de la muestra, esto da un total de 8 repeticiones por carácter por cada voluntario, dando como resultado 480 muestras por carácter. Las plantillas se escanearon y las imágenes se trabajaron en formato jpeg con valores representados en color rojo, verde y azul.

Figura 1. Modelo de Plantilla



Estandarizado

Consiste en estandarizar las imágenes de los caracteres, optimizando así los procesos de entrenamiento y reconocimiento. Para este paso se realizó una función llamada preprocesamiento, la cual funciona de la siguiente manera: lee la dirección de la imagen y la cantidad de estados del modelo oculto de Markov, luego, se carga la imagen al directorio de trabajo en MatLab utilizando la función `imread`, se transforma a escala de grises con `rgb2gray`, se calcula el umbral de binarización usando `graythresh`, esta función calcula el nivel de color en una imagen en escala de grises, tales que a partir de ese valor, al binarizarla (convertirla a blanco y negro) con `im2bw` todos los píxeles menores a él se conviertan en color negro, el cual es representado por el número cero (0) y, los demás a color blanco representados por el número uno

(1). En MatLab las imágenes se representan como matrices.

Ya con la imagen binarizada, se procede a eliminar el ruido de la misma utilizando el filtro de la mediana con la función `medfilt2`, esta es una técnica de filtrado digital que consiste en generar una imagen, cuyos píxeles se obtienen calculando la mediana del conjunto de los píxeles vecinos, logrando homogenizar los que tengan intensidades diferentes.

Cuando se habla de ruido se refiere a datos que no pertenecen al carácter, como sombras, pliegues, entre otros. Se busca dejar solamente el patrón a identificar sin interferencias. Este es un proceso fundamentalmente matemático.

Ahora, se pasa a la etapa de esqueletización. Aquí la imagen se somete a un proceso de adelgazamiento, borrando sucesivamente los puntos del contorno del carácter, procurando que mantenga su tipología. Al finalizar este proceso se habrá obtenido el esqueleto del símbolo a tratar. El objetivo es simplificar la forma de la imagen. La función utilizada para tal fin fue `bwmorph`.

Se procede a aplicar la función borde en la matriz, esta es de elaboración propia, y consiste en eliminar todas las filas y columnas que no posean alguna parte del carácter esqueletizado, es decir, aquellas que no contengan ningún cero (0).

Para finalizar, se añade una columna de ceros esto es equivalente a añadir una línea vertical negra en la imagen, el motivo de esto se explicará en la extracción de características. En la figura 2 se presenta el digrama de flujo de esta fase.

Figura 2. Función preprocesamiento



Extracción de características

En el proceso de preprocesamiento se prepararon las muestras para poder asociar un modelo de cadena oculta de Markov. A partir de ahí, surgen las siguientes preguntas: ¿cuáles serían las observaciones? y ¿cómo se pueden seleccionar los estados y símbolos del modelo?

Las muestras son un conjunto de imágenes. Por la naturaleza de las mismas, se trabaja en dos dimensiones, lo cual se puede interpretar como dos variables independientes, sin embargo, esto no es útil

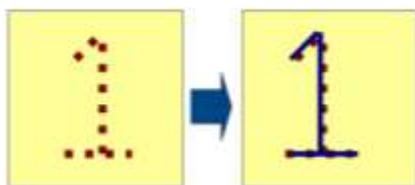
para aplicar las cadenas ocultas de Markov directamente, como, al estudiar las imágenes con detalle se observa que se pueden tomar características intrínsecas de ellas y asociarlas a un vector.

Conviene analizar cuáles son aquellas características que realmente permiten describir numéricamente una imagen, tal que se puedan diferenciar una de otra. Algunos autores le dan especial énfasis a este paso y dedican su estudio al mismo, ver (Hassan et al., 2015).

Dicho todo esto, entonces, ¿qué características esenciales se pueden extraer de una imagen que sean discretas o puedan discretizarse de forma eficiente y a su vez permitan diferenciar los caracteres?

En investigaciones previas como, por ejemplo, en Xie (2007) y sus referencias; se utilizaron características como ángulos, vectores, gradientes, entre otros. En este estudio se desarrolló una técnica de extracción de características basada en una forma de enseñanza de la escritura en humanos. Es usual que un docente le dibuje a un niño una serie de puntos, que al unirlos con líneas se obtenga una letra, un número, entre otros, ver figura 3.

Figura 3. Carácter punteado y remarcado



Al disponer de una imagen preprocesada, realmente lo que se tiene es una matriz con ceros (0) representando al color negro, y unos (1) correspondientes al color blanco (Figuras 4 y 6). En el preprocesamiento se

ha llevado la imagen del carácter a una forma simple, es decir, se ha binarizado el carácter y se ha esqueletizado.

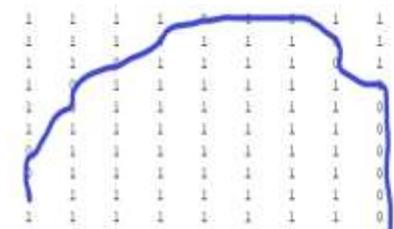
Haciendo analogía con lo mostrado en la figura 3, si se consideran los ceros de la matriz como los puntos y luego se traza, se obtiene lo reflejado en la figura 5.

Ahora bien, para trazar la figura es necesario saber los puntos de inicio y fin, además, conocer el orden en que se unirán, por ejemplo, un criterio podía ser: si se comienza en el punto uno luego, al 2, y así sucesivamente hasta llegar al último punto.

Figura 4. Imagen Esqueletizada



Figura 5. Trazo del contorno en la matriz



Continuando con la relación planteada, es lógico pensar que cada columna represente un estado.

Para continuar se requiere saber exactamente dónde están los puntos. En una matriz se puede saber la posición de cada valor, así que se aprovechará esto para encontrar las observaciones del modelo.

El criterio es el siguiente: Se toma la primera columna y se transforma a vector, los unos (1) quedan igual (representan el color blanco), donde va cero (color negro, es el punto en cuestión), se coloca la posición que tiene en el vector más uno, por ejemplo, en la figura 7 la primera columna

$$[1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 1]$$

equivale a

$$[1, 1, 1, 1, 1, 1, 8, 9, 10, 1]$$

Lo anterior se guarda en un vector, y al ir tomando cada columna y almacenando la información extraída en el mismo, se genera el vector de observaciones. Es de hacer notar que el número de filas más uno es la cantidad de símbolos del modelo. Para asegurar que se tomen todos los símbolos, al final de la matriz se añadirá una columna nula.

Figura 6. Matriz imagen original

1	1	1	1	0	0	0	1	1
1	1	1	0	1	1	1	0	1
1	1	0	1	1	1	1	0	1
1	0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	0

Figura 7. Matriz imagen modificada

1	1	1	1	0	0	0	1	1	0
1	1	1	0	1	1	1	0	1	0
1	1	0	1	1	1	1	0	1	0
1	0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0

Ya con lo dicho, se tiene claro cuáles son los estados y el vector de observaciones, más aún, se sabe cuál es la secuencia de estados visitada por los símbolos, notar que, para las observaciones de la primera columna, la secuencia de estados visitada es [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1], para la segunda es [2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2], y así sucesivamente.

Al concatenarlos se obtiene la secuencia de estados visitada para las observaciones dadas.

Fase II: Entrenamiento

En la fase de entrenamiento el 50% de las muestras escogidas para el entrenamiento es preprocesado. Obteniendo para cada

una de estas muestras una secuencia concatenada de caracteres que se utilizan para la estimación de los parámetros de un modelo de Markov oculto por cada carácter en estudio. En la siguiente sección se describe brevemente en que consiste la estimación.

Estimación de parámetros

Formalmente, una cadena oculta de Markov es un proceso estocástico $\{Y_k\}$ con valores en un conjunto finito $\{o_1, \dots, o_r\}$. Este proceso es generado en dos etapas: Primero se muestrea un valor o_i de una cadena de Markov homogénea $\{X_n\}$ con valores en $\{1, \dots, m\}$ y matriz de transición $P = \{p_{ij}\}$. Entonces para cada valor $i \in \{1, \dots, m\}$ se muestrea un valor $s \in \{1, \dots, r\}$ de la distribución de probabilidad definida por $e_{is} = P(Y_n = s | X_n = i)$ (la emisión). La cadena $\{X_n\}$ no es observada, razón por la cual tal proceso recibe el nombre de modelo de cadena de Markov oculta. Estos procesos están determinados por: la distribución de X_0 , denotada por γ , la probabilidad de transición P , la matriz de emisiones $E = \{e_{ij}\}$ de dimensiones $m \times r$.

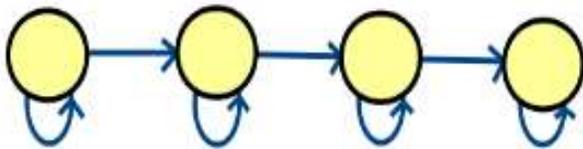
Se define un modelo de Markov oculto como una cadena de Markov bivariada $\{(X_k, Y_k)\}$ con valores en $\{1, \dots, m\} \times \{1, \dots, r\}$ para la cual $\{X_k\}$ es una cadena de Markov homogénea con espacio de estado $\{1, \dots, m\}$ (no observada) y las entradas de la matriz de transición Q de la cadena conjunta $\{(X_k, Y_k)\}$ se factorizan como $Q_{(i,j)(j,s)} = p_{ij}e_{js}$.

Los parámetros a determinar son (γ, E, P) las estimaciones son realizadas por el método de máxima verosimilitud, este consiste en maximizar el logaritmo de la

función de verosimilitud, esto se realiza a través del algoritmo de Baum-Welch. Mientras que el algoritmo de Viterbi permite obtener la secuencia oculta más probable, ver (Fermín et al., 2016).

En este trabajo se consideran modelos de izquierda a derecha (Bakis) con m estados, los modelos de izquierda a derecha son bastante fáciles de estimar y por lo tanto de entrenar, ver (Rabiner y Juang, 1993). Se construye un modelo de este tipo para cada símbolo.

Figura 8. Modelo de Bakis



Fuente: (Rabiner, 1989)

En este trabajo se utilizó la función `hmmestimate`, ver (Cleve, 2004). Con la aplicación de este paso para cada imagen de la muestra, se van almacenando las matrices de transición y de emisión en un archivo txt de cada una, así se tienen los parámetros del modelo para poder contrastar en el proceso de reconocimiento.

Fase III: Identificación

El algoritmo de identificación permite adquirir la imagen, preprocesarla y extraer sus características luego, estas muestras serán las observaciones a contrastar con cada uno de los modelos almacenados en la base de datos. Los modelos almacenados se han construido estimando en la fase de entrenamiento los parámetros (las probabilidades de transición y emisión) del modelo de cadena oculta de Markov, esto para cada uno de los 14 símbolos. Se utilizó el 50% de la muestra que se destinó para la

predicción, estimando para cada muestra el valor del logaritmo que maximiza la log-verosimilitud de cada uno de los 14 modelos y, luego, se clasificó la muestra asignando el símbolo que produjo mayor log-verosimilitud.

DISCUSIONES

En este estudio se recogieron las muestras de la forma indicada en la sección de adquisición de muestras, en total se trabajaron 480 muestras por carácter, de las cuales, la mitad de ellas se tomaron para entrenar el algoritmo y las demás para verificar el proceso de identificación, a éstas se les añadió las muestras utilizadas para el entrenamiento, de tal forma que para el proceso de reconocimiento se experimentó con todas las muestras recaudadas. Esta forma de dividir la muestra crea un balance adecuado para las fases de entrenamiento e identificación produciendo una buena capacidad de generalización.

La originalidad de esta investigación, yace principalmente en la técnica de extracción de características implementadas, en contraste con otras investigaciones. En esencia, los pasos generales de reconocimiento de caracteres suelen ser similares, independientemente de la herramienta matemática utilizada. Se suelen adquirir muestras, preprocesarlas, extraer características y aplicar un modelo matemático seleccionado para el estudio, luego se elabora el proceso de identificación, el cual es similar a lo anterior, pero en vez de entrenar modelos, se evalúa para cuál de los mismos se ajusta mejor.

El tamaño de la imagen es muy sensible para el estudio, si es mayor a 50 píxeles es posible que incremente el error, mientras más grande sea la imagen más probable es

que se deforme el carácter al preprocesarlo de acuerdo a las consideraciones que se han tomado para el estudio, lo cual podría incrementar el error.

CONCLUSIONES

El conjunto de datos utilizado en este estudio estuvo formado por 6720 imágenes estandarizadas hasta un máximo de 50 píxeles y las muestras corresponden a 14 caracteres. En este estudio, se utilizó un método de clasificación por cadenas ocultas de Markov para el reconocimiento off-line de símbolos matemáticos manuscritos.

Se realizó un procedimiento de pretratamiento que permitió extraer el conjunto de características que fueron preparadas para ser clasificadas e identificadas. El número de caracteres utilizados fue pequeño (a penas, 14 clases) para la cantidad de símbolos matemáticos

existentes. Se obtuvo un error de aproximadamente el 1% de las mismas, éste fue calculado de la siguiente forma $(73/6720) \cdot 100 \approx 1.1\%$. Sin embargo, se recomienda experimentar con un mayor número de muestras y ampliar el diccionario de símbolos, además, se puede desarrollar un algoritmo de segmentación y aplicar lo desarrollado en esta investigación, con el fin de lograr reconocer textos completos, y elaborar así un proceso donde automáticamente se genere una plantilla en LaTeX con el texto identificado, ver (Lamport, 1986). LaTeX es un editor que permite generar documentos con un formato a establecer por el usuario.

REFERENCIAS

Cleve, M. (2004). *Numerical Computing with MATLAB*. SIAM.

Chang, S. K. (1986). Visual Languages: A tutorial and survey. In: *Interdisciplinary Workshop on Informatics and Psychology*, LNCS 282, pp. 1-23. https://doi.org/10.1007/3-540-18507-0_1

Fermín, L.; Ríos, R. & Rodríguez, L-A. (2016). *Modelos de Markov ocultos*. Ediciones IVIC.

Gadea, M. (2007). *Aportaciones al Reconocimiento Automático de Texto Manuscrito*. Universidad Politécnica de Valencia. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/1832>

Hassan, M.; Akkasi, A.; Zargarpour, E. & Mohammadi, Z. (2015). Diagnosis of

Mathematical Symbols using Hidden Markov Model. *International Journal of Computer Applications*, 125(1), 40-42.

<https://doi.org/10.5120/ijca2015905711>

Jamilu, A. & Ogwueleka, F. (2019). On Holdout and Cross Validation A Comparison between Neural Network and Support Vector Machine. *International Journal of Trend in Research and Development*, 6(2), 235-239.

<https://www.ijtrd.com/papers/IJTRD14695.pdf>

Kremer, R. (1998). Visual Languages for Knowledge Representation. In: *Proceeding of 11th Workshop on Knowledge Acquisition, Modelling and Management*, 15, pp. 1-13.

Lamport, L. (1986). *LATEX: A Document Preparation System*. Edición 13, ilustrada, reimpressa. Addison-Wesley.

- Mendoza, N. (2019). *Reconocimiento de símbolos matemáticos manuscritos con técnicas de Cadenas Ocultas de Markov*. [Trabajo Especial de Grado de Licenciatura]. Universidad de Carabobo, Venezuela.
- Méndez, I. (2016). *Mathematical expression recognition*. [Tesis Doctoral]. Universitat Politècnica de Catalunya, España.
- Palella, S. y Martins, F. (2012). *Metodología de la Investigación Cuantitativa*. (3ra Edición). FEDUPEL.
- Rabiner, L. (1989). A tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition. *Proceedings of the IEEE*, 77, 257-286. <http://dx.doi.org/10.1109/5.18626>
- Rabiner, L. y Juang, B. (1993). *Fundamentals of Speech Recognition*. Prentice Hall.
- Salcedo, F. (2006). *Aplicación de los HMM al reconocimiento de las características fundamentales de la música*. Editorial Universidad de Granada.
- Sarunas, R. & Anil, J. (1991). Small Sample Size Effects in Statistical Pattern Recognition: Recommendations for Practitioners. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13(3), 252-264. <https://doi.org/10.1109/34.75512>
- Toselli, A. (2004). *Reconocimiento de Texto Manuscrito Continuo*. [Tesis Doctoral]. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Wang, H. & Shan, G. (2020). Recognizing handwritten mathematical expressions as LaTeX sequence using a multiscale robust neural network. In: *In Computer Vision and Pattern Recognition* (Issue 37), pp. 1-20. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.00817>
- Xie, X. (2007). *On the Recognition of Handwritten Mathematical Symbols*. The University of Western Ontario.

Autores

Luis Angel Rodríguez. Licenciado en Matemática, Magíster en Ciencias mención: Matemática y Doctor en Ciencias mención: Matemática, Universidad Central de Venezuela. Docente-Investigador Dpto. de Matemática de la Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7253-7339>

Email: larodri@uc.edu.ve

Nathilyn C. Mendoza. Licenciada en Matemática, Universidad de Carabobo. Atenea Mercantil Servicios y Tecnologías de la Información, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8193-0650>

Email: mendoza.nathy@gmail.com

Franzyuri Fernando Hernández Fajardo. Licenciado en Matemática, Universidad Nacional Abierta, Magíster en Matemática y Computación, Universidad de Carabobo. Docente-Investigador Dpto. de Matemática y Física de la Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2748-8005>

Email: fhernan@uc.edu.ve

Recibido: 06-08-2023

Aceptado: 21-12-2023

Disrupción tecnológica: innovación, metaverso, inteligencia artificial

Technological disruption: innovation, metaverse, artificial intelligence

Ero Del Canto, José David Mercado

<https://doi.org/10.54139/riiant.v8i31.600>

Palabras clave: disrupción tecnológica, inteligencia artificial, metaverso, innovación

Key words: technological disruption, artificial intelligence, metaverse, innovation

RESUMEN

Los cambios del entorno son cada vez más veloces, caracterizados por la disrupción tecnológica, la cual se aceleró con la pandemia del COVID-19. En este sentido, el trabajo tiene por objetivo hacer reflexiones pertinentes sobre tres elementos claves en dicha disrupción, la inteligencia artificial (IA), el metaverso y la innovación como una consecuencia de lo anterior. La metodología utilizada fue de carácter documental, basada en un arqueo en fuentes físicas y electrónicas de autores estudiosos de la temática planteada. Los hallazgos se orientan a entender la importancia de afrontar con asertividad la disrupción tecnológica como fuente de competitividad para las organizaciones, con especial énfasis en el talento humano. Las reflexiones, permiten afirmar que las organizaciones deberán transformarse, en un proceso de constante adaptación a la disrupción del entorno especialmente el tecnológico con todo lo que ello implica, en este sentido deberán invertir y adaptar plataformas tecnológicas, así como formar su talento humano, cuidando el mejor equilibrio entre el binomio hombre-máquina.

ABSTRACT

Environmental changes are increasingly rapid, characterized by technological disruption, which accelerated with the COVID-19 pandemic. In this sense, the work aims to make relevant reflections on three key elements in said disruption, artificial intelligence (AI), the metaverse and innovation as a consequence of the above. The methodology used was documentary in nature, based on a range of physical and electronic sources from authors who are scholars of the topic raised. The findings are aimed at understanding the importance of assertively facing technological disruption as a source of competitiveness for organizations, with special emphasis on human talent. The reflections allow us to affirm that organizations must transform, in a process of constant adaptation to the disruption of the environment, especially the technological one with all that this implies, in this sense they must invest and adapt technological platforms, as well as train their human talent, taking care of the best balance between the man-machine binomial.

INTRODUCCIÓN

Los cambios del entorno son cada vez más veloces, caracterizados por la disrupción tecnológica, la cual se aceleró con la pandemia del COVID-19. En este sentido, el trabajo tiene por objetivo hacer reflexiones pertinentes sobre tres elementos claves en dicha disrupción, la inteligencia artificial (IA), el metaverso y la innovación como una consecuencia de lo anterior.

Esta situación, trae como resultado que, a corto y largo plazo las organizaciones deban hacer los cambios pertinentes, adaptando sus plataformas tecnológicas, estando además en la imperiosa necesidad de monitorear el entorno, constantemente, debido a la velocidad de cambios de las tecnologías, la cual esta presente en todas las áreas funcionales de la empresa, siendo hoy día mercadeo el área en la cual se usa mas la tecnología, a través de las diferentes redes sociales.

METODOLOGÍA

La metodología utilizada fue de carácter documental, basada en un arqueado en fuentes físicas y electrónicas de autores estudiosos de la temática planteada,

RESULTADOS y DISCUSIÓN

Se está en presencia de un mundo cambiante y disruptivo en diferentes aspectos, siendo el más relevante los cambios y disrupción tecnológica, el cual se aceleró con la pandemia COVID-19, se

En este orden de ideas, lo anterior implica también desarrollar y ejecutar planes asertivos de formación y capacitación del talento humano, para actualizar sus competencias en el uso de las nuevas tecnologías de información y comunicación., lo que a su vez implica seguimiento e inversiones financieras para mantener una posición competitiva en el mercado.

Otro aspecto que se analiza en la investigación, es el rol del hombre y la reflexión orientada a visualizar si los avances tecnológicos, el uso del metaverso, la IA, realmente va a desplazar al ser humano en el campo laboral, y en la esencia de su existencia. Hasta que punto sus actividades serán desplazados por las maquinas y cuales serian los planes en las empresas para afrontar dicha situación, esa es justamente la interrogante con la que cierra las reflexiones finales.

haciendo una análisis reflexivo con la fundamentación epistemológica y soportado por la hermenéutica del investigador.

evidencia como tanto las personas y las organizaciones han tenido que reinventarse para hacer frente a esta ola de cambios, tal y como afirman Coronel y Santos (2020),

...la pandemia del COVID-19 ha ocasionado que las empresas asuman una disrupción digital forzosa, sobre

todo las medianas y pequeñas empresas, lo que ha implicado que éstas innoven en con modelos económicos audaces y con visión de futuro, reestructuren sus organizaciones desde la cultura hasta la contratación de personal con habilidades tecnológicas, en aras de alcanzar la competitividad empresarial, (p.1)

Lo expresado por los autores, da cuenta de las evidencias de los cambios forzados y constantes que han tenido que hacer las organizaciones y en consecuencia sus miembros, en adaptación a las nuevas formas de trabajo y procesos. Cabe destacar que la tecnología cambia muy rápido, por lo que la capacidad y velocidad de adaptación de las organizaciones deben ir a ese ritmo, haciendo inversiones en plataformas tecnológicas y formación del talento humano.

Es importante analizar y reflexionar lo referente a los roles que van a tener las personas para reinventarse de manera continua, así como las organizaciones.

En este sentido Torrealba (2019), afirma que:

Nuevos desafíos y oportunidades emergen de la utilización de nuevas tecnologías que implican necesariamente la revisión del quehacer gerencial tradicional, toda vez que día a día son mayores. Determinar la ruta más eficiente para desarrollar la visión y la misión empresarial es para los directores ejecutivos en la actualidad, una permanente evaluación del cómo

influir en su medio, que implica muchas veces rebelarse conscientemente al estatus quo para aprovechar oportunidades claves, utilizar fortalezas para disminuir el impacto de amenazas y vencer debilidades. Además, requiere mayor intuición respecto a las estrategias de competidores, mayor productividad del talento humano, menor resistencia al cambio. (p.329).

Estas, tienen una gran responsabilidad, por lo que deben establecer procesos estratégicos que le permitan a los gerentes monitorear los cambios del entorno, redefinir el negocio, los elementos del direccionamiento, no solo en su visión y misión, sino la reformulación y formulación de nuevos valores que soporten los cambios e innovación en las que están inmersas las organizaciones, de manera de que sea una forma de comportamiento común en sus miembros, traduciéndose en una efectiva cultura organizacional. De igual manera, los planes de acción orientados a establecer estrategias para la capacitación constante del talento humano, para que desarrollen habilidades y destrezas que le permitan afrontar los cambios tecnológicos, y hacer las inversiones necesarias en infraestructura tecnológicas para tal fin.

Si bien es cierto que la disrupción tecnológica, permitirá cambiar el estilo de vida y en consecuencia los procesos internos en la organización, en lo referente a la inteligencia artificial (IA), la frase expresada por Hamidiam (2023) dejar a las máquinas la capacidad de pensar, es una

frase muy arriesgada ya que, pareciera que las personas perderían o cederían espacio a las máquinas para el proceso del pensamiento. En este orden de ideas, es importante reflexionar como las organizaciones podrán interactuar con la IA, así como será el rol del talento humano en este proceso de interacción. González (2021) hace referencia a que “el hombre, es decir, nosotros debemos de ser superados. ¿Hacia dónde? Y, sobre todo, ¿qué hemos hecho para superarlo? La ciencia tiene una respuesta a esto: hacia la IA, la inteligencia artificial” (p.107).

Por su parte, Cortina (2019) destaca haciendo referencia a los tipos de inteligencia, la inteligencia superior o superinteligencia. Con esta expresión se refiere a un tipo de inteligencia que supera a la humana, de modo que las máquinas pueden sustituir al hombre. Esta modalidad de IA es la que da lugar a las propuestas transhumanistas y posthumanistas con la idea de la “singularidad”.

Lo expresado da cuenta que ciertamente en algún momento la IA superará la capacidad de pensamiento del hombre, el dilema es saber si habrá una especie de dominación del pensamiento y disminuirá también su capacidad de tomar decisiones. Es lógico pensar que habrá nuevas formas de trabajo y nuevos trabajadores, con nuevas competencias, pero también con nuevas funciones y responsabilidades, que requerirán un nuevo marco regulatorio, con base en los nuevos esquemas laborales. Cañigueral (2020), afirma que, en un futuro, ya próximo, los robots les robarán

el trabajo a las personas, en este sentido, surge la interrogante, sobre cuál será el nuevo marco regulatorio del nuevo mundo del trabajo y más allá de eso, cual deberá ser esa nueva elite de trabajadores como, su formación y perfil laboral y profesional, para afrontar esta nueva realidad organizacional.

También es importante reflexionar sobre los riesgos que implica las decisiones y labores que se hagan con Inteligencia Artificial, y sus posibles consecuencias, por lo que cobra vigencia lo dicho por el Dr. Hamidiam (Ob.cit.) no es que la IA domine al hombre, es el mismo hombre que domina al hombre a través de la IA. Es importante el factor ético asociado a la toma de decisiones, de manera de que los gerentes las tomen basadas en la ética y moral y su aplicación en los procesos organizacionales. Diestra et al. (2021), expresan que Inteligencia Artificial, se ha vuelto un aliado ideal en la toma de decisiones, así como un posible reemplazo del gestor de decisiones humano. Lo expresado por los autores permite reflexionar sobre su importancia en las organizaciones y el desplazamiento del talento humano, ahora bien, el factor clave será qué y cómo tomar las decisiones, es decir el dilema ético.

La gran interrogante es entonces ¿Cuál será la decisión ética que va a orientar este tipo de superinteligencia.? González y Martínez (2020) mencionan que la gran problemática es: ¿Cómo eliminar los riesgos de un uso malicioso del desarrollo tecnológico en el ámbito de la inteligencia artificial? La prueba es que, desde la concepción de la

ética y la moral, trabajar en la conciencia de sus desarrolladores es esencial. Lo expresado evidencia que la IA es importante en los nuevos escenarios organizacionales, sin embargo, el principal factor de éxito será formar en valores a los desarrolladores y también a los gerentes como actores en la toma de decisiones en este ámbito, de allí el uso asertivo de la misma.

Otro aspecto importante esta referido a la influencia social de la IA, es decir su poder como agente de transformación de la sociedad, por el amplio campo que abarca su influencia será determinante, en mejorar y facilitar la vida de las personas. Este avance vertiginoso de la Inteligencia Artificial y las nuevas Tics, tal y como expresan Troisi, Visvizi y Grimaldi (2023), influyen y condicionan los procesos en las organizaciones, tanto así que, la realidad que se denomina PHYGITAL, irá más a la tendencia de lo digital, con lo cual se va disminuyendo el trabajo físico y la presencia del talento humano en las organizaciones. Además, los avances tecnológicos van a permitir nuevas formas de gestionar el conocimiento y generando internamente resiliencia que debe estar orientada a la evolución y adaptación por parte de las personas, no solo a lo interno de la organización, sino a nivel general en la sociedad, en la búsqueda del progreso social, es decir provocaran un profundo cambio social, que pudiese implicar el desplazamiento del individuo.

Al respecto hay diversas opiniones Sadin (2020), afirma que:

Bajo un arco de formas que van de las más amables (sugerencias de compra, de movimientos) a las más coactivas (clasificación e indexación de los humanos para incluirlos o excluirlos de ciertos beneficios y derechos), en áreas relacionadas con la vida social general (la economía) o en otras que rozan la intimidad del individuo (la evaluación médica sobre su propio cuerpo), la inteligencia artificial propone diagnósticos que se suponen superiores a los humanos porque parten del manejo y correlación de datos imposibles de realizar por un individuo. (p.1).

Lo expresado da cuenta del grado de influencia que tendrá la IA en la vida cotidiana, desplazando actividades que antes hacían las personas. Las organizaciones deberán tener procesos estratégicos y manejar escenarios, en los cuales están presentes los cambios tecnológicos, caracterizados por la IA y el metaverso, por lo cual deberán adecuar sus procesos a dichos cambios, ya que el mismo entorno lo irá exigiendo para que sean sostenibles en el tiempo, aunque siempre el gran dilema va a girar en torno al talento humano.

En este sentido, Casallas (2021) destaca lo siguiente:

Es de gran importancia el manejo que se le dé a la misma porque si bien es algo bueno para la humanidad, un mal manejo y control puede tener resultados negativos, a medida que van surgiendo nuevas tecnologías es bueno ir al tiempo para evitar riesgos.

Además, de ello se debe tener en cuenta que la IA no desplaza al ser humano, sino que ayuda a que alguna función se haga de manera más eficaz, por eso también las empresas deben, aparte de contratar estos sistemas, capacitar al personal para aquellas carreras que van surgiendo a lo largo de los años resultado de la era digital, así como también sus sistemas corporativos para que el desempleo no se evidencie en gran medida, sino por el contrario sea el ser humano un aliado adaptándose a nuevos cambios y retos (p.13).

Lo expresado por el autor evidencia la gran importancia del talento humano en los procesos organizacionales y su interacción con la IA, por lo que las estrategias para ser sustentables a través del tiempo deben orientarse al buen manejo de la misma, lo cual implica capacitar a los gerentes en la toma de decisiones basadas en valores éticos y la formación en competencias para abordar los cambios tecnológicos, como se ha hecho mención anteriormente. Como un ejemplo Brosi, Rivieri y Castillo (2021), mencionan el área de la investigación y educación, el Google como un motor de búsqueda que ha facilitado y acelerado las formas de investigar en el campo educativo, no obstante, los dilemas éticos que han surgido como lo es el plagio, además el riesgo en lo que se refiere su capacidad investigativa y reflexiva.

El avance de las Tics en el campo educativo, también se evidencia en los currículos de las diferentes asignaturas, las cuales, deberán adaptarse y orientarse a la generación de competencias en los

estudiantes para su uso y manejo no solo en su proceso de aprendizaje, sino en su vida profesional. En este sentido Aparicio (2023), menciona que la Inteligencia Artificial, ha tenido una evolución vertiginosa, en especial en el campo educativo, lo cual ha permitido ampliar y mejorar las formas de enseñanza y aprendizaje, a través de las diferentes estrategias, permitiendo así personalizarlo, creando entornos virtuales adaptativos y los dilemas éticos que surgen con la integración de la IA en dicho entorno.

El mismo autor (ob.cit.) expresa que, “los denominados recursos adaptativos inteligentes caracterizados por utilizar algoritmos de IA, pueden conectar a estudiantes con intereses y objetivos similares, permitiendo la colaboración en proyectos, discusiones en línea y el intercambio de ideas” (p.224). Como se puede evidenciar la IA tendrá un gran campo de acción en la educación, el gran dilema es como se preparan las universidades e institutos educativos en todos los niveles en cuanto a la preparación de las competencias de los docentes, actualización del currículo en función a las necesidades del entorno y la infraestructura necesaria para una mejor y mayor operacionalización en dichos espacios.

En este orden de ideas, puede hablarse de una colaboración hombre -maquina, en este caso en el campo educativo, sin embargo, tiene varias interrogantes, ¿cómo será la colaboración?, ¿de qué tipo de colaboración se está hablando? y ¿si será bajo un esquema ganar-ganar?, ¿qué se entiende

por colaboración hombre-máquina?. La IA se convierte en un tipo de instrumento creado por el hombre para facilitar la vida cotidiana del mismo hombre, aunque más en el fondo será un instrumento de su propia dominación, es así que se habla de una colaboración hombre-hombre, siendo las máquinas intermediarias, con los respectivos dilemas éticos involucrados en los diferentes esquemas de colaboración.

Interesante lo planteado por Zamorano (2009) quien, haciendo referencia a varias de las películas de Steven Spielberg sobre humanoides, e Inteligencia Artificial, destaca que empieza así un recorrido en el que el sujeto retoma el saber cómo dispositivo de dominación sobre la naturaleza y, ante todo, sobre el hombre, a través de la Inteligencia Artificial. Es así que la IA, aunque en principio pueda facilitar la vida cotidiana en ese esquema colaborativo hombre -máquina, si las decisiones de los que la crean no están bajo los verdaderos parámetros éticos por decirlo de alguna forma, puede convertirse en instrumento más que de colaboración, de dominación.

Con base en lo expresado anteriormente, se puede evidenciar ese desplazamiento del ser humano, en la llamada sociedad posthumanista, en lo que Chavarria (2015), define como una pérdida de la identidad humana, y eso, considero, será lo que podrá pasar con el ser humano sino se toman las mejores decisiones éticas en el marco de los procesos de IA. En contraposición, puede hacerse referencia al metaverso, mundos virtuales compartidos en los que las personas pueden trabajar rompiendo

barreras físicas, económicas y usando avatares, de hecho, los metaversos podrán ser vistos como el futuro del trabajo.

Este se caracteriza entre otros aspectos por la presencia e interoperabilidad en espacios virtuales, en los cuales el ser humano está presente en la figura de avatares. Sus principales ventajas radican en poder eliminar barreras, tener equipos de trabajo en un mismo lugar, así como trabajar desde cualquier lugar, mejorando el teletrabajo, en este sentido los metaversos son formas de facilitar el trabajo con la virtualidad, en la cual las personas tienen presencia en forma de avatares, por lo cual puede afirmarse que no hay desplazamiento de estas.

En líneas generales las organizaciones afrontan nuevos retos, ante la disrupción tecnológica, que requerirán de la formulación y ejecución de estrategias para su adaptación. El talento humano seguirá teniendo un rol fundamental, aunque ciertamente algunos avances tecnológicos como lo es la IA, se orientan en su progresivo desplazamiento, no así en el caso del metaverso. Lo esencial es que la tecnología será un factor clave del éxito organizacional, y su buen manejo permitir a las organizaciones evolucionar y avanzar en la era digital, a la par de su talento humano.

En el campo educativo, al parecer es donde más auge ha tenido el metaverso, como herramienta de enseñanza y aprendizaje, basado en la realidad virtual (RV), aspecto que va cada vez más en auge, en este sentido Barraez (2022), expresa:

La RV dirigida a la enseñanza/aprendizaje en el escenario tecnológico educativo admite producir simulaciones en donde los ecosistemas pedagógicos (aulas de clases) o ámbitos empresariales puedan prestar asistencia a sus colaboradores en la adquisición de conocimientos elementales y adelantados en referencia, a los quehaceres cotidianos correspondientes a sus entornos laborales. Sin embargo, "es importante reconocer que para colocar a prueba el conocimiento impartido en las aulas de clase y asimilar estas simulaciones, se hace necesario crear herramientas rentables para transferir habilidades y conocimientos al usuario final." (p.15).

Lo dicho, permite reflexionar sobre dos aspectos claves, el primero, como generar los espacios virtuales educativos ideales para que puedan aplicarse estrategias virtuales de enseñanza y aprendizaje, y en segundo lugar la formación docente en el desarrollo de este tipo de competencias.

Otro aspecto importante a destacar este asociado con el uso de la realidad virtual en el campo de las organizaciones, en este sentido, Páez y otros (2022), destacan que debe hablarse de una transformación digital integral, que abarque lo tecnológico, cultural, económico y lo más importante lo humano. Lo anterior implica tener una visión holística de toda la organización y entender que, lo que afecta una determinada área, tendrá consecuencias en otras áreas, por eso la digitalización debe ser sistémica, apalancada en infraestructura tecnológica.

En este mismo orden de ideas Guerra (2023) expresa que:

Las empresas que utilizan el metaverso como herramienta digital innovadora pueden obtener una serie de beneficios competitivos, tales como una mayor eficiencia en los procesos empresariales, una mayor satisfacción de los clientes y una mayor capacidad para adaptarse a los cambios del mercado. (p.1).

Lo expresado por el autor, refleja la importancia del metaverso, lo que requerirá de grandes inversiones, pero con grandes beneficios a la organización en el mediano y largo plazo.

Aprovechar los cambios tecnológicos, permitirá, utilizar la innovación como punta de lanza para ser más competitiva y captar nuevos mercados, así como buscar la diversificación de su portafolio, Castellanos y Escott (2021), destacan que la innovación en los procesos tecnológicos debe enfocarse en las nuevas formas de trabajo y sus adaptaciones para hacerlo a distancia, además de, la constante capacitación del talento humano, debido a la velocidad con la cual cambia la tecnología. En este sentido, los cambios tecnológicos requieren un constante monitoreo por parte de la organización, y formar parte integral de su gerencia estratégica, es decir establecer escenarios, y desarrollar una DOFA que este integrada a sus objetivos, entendiendo que sufrirán cambios producto de la complejidad del entorno.

Reflexiones finales

El manejo asertivo de la IA en un mundo que será más digital que físico o presencial, estará muy ligado a los dilemas éticos, así como buscar los equilibrios en especial en los sistemas denominados tecnocientíficos, que, aunque son de gran utilidad para el desarrollo de la sociedad, su mal manejo y concentración de poder puede ser perjudicial. De igual manera tendrá un gran impacto en la condición humana y la esencia de las personas, que con el tiempo estarán orientados a crear formas de vida intencionales, bajo el esquema de la perfección.

Es así que el denominado transhumanismo hace referencia a formas de vida fuera del orden humano y que auto evolucionan por un código escrito Tillería (2022.), lo define como: “[...] la posición de quienes creen que es posible provocar deliberadamente un ‘mejoramiento’ (enhancement) de los seres humanos, con miras a alcanzar un estado superior, a veces llamado ‘transhumano’, o incluso ‘posthumano’” (p.60). Es así que al hacer referencia a que

es deliberado, implica el uso de Inteligencia Artificial, como forma de mejorar las capacidades físicas y cognitivas, entonces cabría la pregunta: ¿los avances tecnológicos, el uso del metaverso, la IA en la denominada PHYGITAL, realmente va a desplazar al ser humano en el campo laboral, y en la esencia de su existencia?

En el ámbito de las organizaciones, deberán transformarse, en un proceso de constante adaptación a la disrupción del entorno especialmente el tecnológico con todo lo que ello implica, en este sentido deberá invertir y adaptar plataformas tecnológicas, así como la formación de su talento humano, cuidando el mejor equilibrio entre el binomio hombre-máquina. En este contexto los procesos decisivos y gestión deben basarse en la ética organizacional, de hacer lo correcto en cuanto a decisiones en el manejo de las tecnologías, que puedan afectar a otras personas, es decir la dominación del hombre por el hombre por medio de la tecnología.

REFERENCIAS

Aparicio, W. (2023). La Inteligencia Artificial y su Incidencia en la Educación: Transformando el Aprendizaje para el Siglo XXI. *Revista Internacional de Pedagogía e Innovación Educativa*, 3(2), 217-229. <https://doi.org/10.51660/ripie.v3i2.133>

Barráez, D. (2022). Metaversos en el Contexto de la Educación Virtual. *Revista Tecnológica-*

Educativa Docentes 2.0, 13(1), 11-19.

<https://doi.org/10.37843/rted.v13i1.300>

Brossi, L., Rivieri, E., & Castillo, A. . (2021). *Inteligencia Artificial y Sociedad: Reflexiones desde la comunicación*. Núcleo IA+SIC Inteligencia Artificial y Sociedad. Reporte de curso. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3820277>

- Cañigüeral, A. (2020). *El trabajo ya no es lo que era: Nuevas formas de trabajar, otras maneras de vivir*. Conecta.
- Castellanos, P. & Escott, G. (2021). Innovación disruptiva de las organizaciones en tiempos de covid-19. *Revista Innova ITFIP*, 9(1), 44-56. <https://doi.org/10.54198/innova09.04>
- Chavarría, A. (2015). El posthumanismo y los cambios en la identidad humana. *Revista Reflexiones*, 94(1), 97-107. <https://doi.org/10.15517/rr.v94i1.20882>
- Casallas, A. (2021). *Inteligencia artificial: la nueva visión a la que apuestan las empresas de hoy*. <http://hdl.handle.net/10654/38009>
- Cortina, O. (2019). Ética de la inteligencia artificial. En *Anales de la Real Academia de Ciencias Morales y Políticas* (pp. 379-394). Ministerio de Justicia. https://www.boe.es/biblioteca_juridica/anuarios_derecho/abrir_pdf.php?id=ANU-M-2019-10037900394
- Coronel, L. F. M., & Santos, C. H. O. (2020). Disrupción digital en tiempos de pandemia efectos en el mercado tecnológico en la provincia de Manabí-Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 5(8), 353-375. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/1592>
- Diestra N. Córdova, A. Caruajulca, C., Esquivel, D. & Nina, S. (2021). La inteligencia artificial y la toma de decisiones gerenciales. *Revista de Investigación Valor Agregado*, 8(1), 52 - 69. <https://doi.org/10.17162/riva.v8i1.1631>
- Guerra, D. L. (2023). *El metaverso como herramienta digital innovadora para beneficio competitivo de las empresas* [Tesis de Maestría]. <https://repository.ucc.edu.co>
- González, Á. (2021). Pensar filosóficamente la inteligencia artificial. *The Xavier Zubiri review*, 15, 107-127. http://www.zubiri.org/general/xzreview/2020/pensar_filosoficamente_2020.pdf
- González, M. & Martínez, D. (2020). Dilemas éticos en el escenario de la inteligencia artificial. *Economía y Sociedad*, 25(57), 93-109. <https://dx.doi.org/10.15359/eyes.25-57.5>
- Hamidiam, B. (2023). *Disrupción: nuevas TIC, gestión tecnológica e innovación, metaverso, tecnociencia e inteligencia artificial*. Conferencia magistral, dictada en el Postdoctorado en Ciencias Administrativas y Gerenciales, Faces, UC. <https://facesvirtual.uc.edu.ve/course/view.php?id=1605>
- Páez-Gabriunas, I., Sanabria, M., Gauthier-Umaña, V., Méndez-Romero, R. A., Rivera Virgüez, L., Anzola, D., ... & Saucedo Meza, G. M. (2022). *Transformación digital en las organizaciones*. Editorial Universidad del Rosario. <https://doi.org/10.12804/urosario9789587848366>
- Sadin, É. (2020). *La inteligencia artificial o el desafío del siglo: anatomía de un anti humanismo radical*. Caja negra.
- Tillería, L., (2022). Transhumanismo e inteligencia artificial: el problema de un límite ontológico. *Griot: Revista de Filosofía*, 22(1), 59-67. <https://doi.org/10.31977/grirfi.v22i1.2539>
- Torrealba, G. (2019). Gerencia estratégica y disrupción. *Scientific*, 4(11), 327-340. <https://doi.org/10.29394/Scientific.issn.2542-2987.2019.4.11.17.327-340>
- Troisi, O., Visvizi, A., & Grimaldi, M. (2023). Rethinking innovation through industry and society 5.0 paradigms: a multileveled approach for management and policy-making. *European Journal of Innovation Management*, 27(9), 22-51. <https://doi.org/10.1108/EJIM-08-2023-0659>
- Zamorano Rojas, A. D., (2009). En busca del sujeto perdido: inteligencia artificial. *Argumentos*, 22(60), 139-162. <https://argumentos.xoc.uam.mx/index.php/argumentos/article/view/388/387>

Autores

Ero Del Canto. Doctor en Ciencias Administrativas y Gerenciales, Magister en Administración de Empresas, mención Finanzas, Especialista en Docencia en Educación Superior. Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9856-8216>

Email: edelcanto19@yahoo.es

José David Mercado. Magister en Administración del Trabajo y Relaciones Laborales, Universidad de Carabobo.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5022-9329>

Email: jmercado36@gmail.com

Recibido: 18-08-2023

Aceptado: 30-11-2023

Revista Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias

Normas para Publicación

La Revista "Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias" tiene como objetivo divulgar resultados de investigaciones en las áreas de ingeniería de métodos, ergonomía, productividad y calidad, investigación de operaciones, sistemas de producción e inventarios, logística, cadenas de suministro, simulación, estadística aplicada, y en general aquellos temas en los cuales la Ingeniería Industrial converge con otras ciencias.

La Revista acepta trabajos que puedan ser incluidos en las siguientes secciones: Artículos de Investigación, Artículos de Divulgación (de interés general), Información y/o Resumen de Eventos Académicos relacionados con la Ingeniería Industrial y Reseñas Bibliográficas, Notas Técnicas o Estados del Arte, relacionados con Ingeniería Industrial.

Todos los trabajos deben ser originales e inéditos, en idioma español, inglés o portugués, y no estar en proceso de arbitraje por otras revistas. Si el trabajo se presentó en algún evento científico o similar, se deben suministrar los detalles correspondientes (nombre completo, fecha, lugar, institución organizadora).

Aspectos Formales

-Título: breve y claro

-Datos del Autor o Autores: presentar los nombres completos de los autores y su afiliación institucional, agregando al artículo una página *aparte* que contenga: títulos, autor(es), correo(s) electrónico(s), institución de procedencia, ciudad, una breve reseña curricular de cada uno de los autores que no exceda las 50 palabras e incluir el resumen del trabajo, indicando la sección en la que propone su publicación. Los autores deben presentar su ORCID ("Open Researcher and Contributor ID", <https://orcid.org/>).

-Redacción adecuada. Escrito en Mayúsculas y minúsculas, según reglas gramaticales y en tercera persona.

-Ortografía. No presentar faltas de ortografía. Cuidar la acentuación y puntuación.

Especificaciones del Formato

-Tamaño del papel y márgenes: carta, márgenes superior e inferior 2,5 cm., izquierdo y derecho 3 cm.

-Tipo de letra Times New Roman, tamaño 12, justificado, un espaciado (6 puntos) entre párrafos, sin sangría e interlineado doble.

-Extensión: no menor de diez ni mayor de 30 páginas.

-Ilustraciones: el artículo puede contener cualquier tipo de ilustración (fotografía, dibujo, gráfico, cuadro o tabla, y deberá llevar su debida identificación y referencia previa. Las fotos deben contener pie de foto explicativo, y cualquier tipo de imagen debe ser de alta calidad en formatos TIFF o JPG. Los dibujos o esquemas deben ser en original, y ser incrustados como imágenes no editables dentro del texto (evitar imágenes producidas por la agregación de múltiples objetos).

Estructura del Contenido**Artículos de Investigación**

Resumen en español (o portugués) e inglés (Abstract): debe contener los aspectos básicos del artículo: planteamiento del problema, metodología usada y breve reseña de los resultados. El número de palabras no debe exceder de 250.

a. **Introducción:** señalar en qué consiste el trabajo completo, su objetivo, antecedentes, estado actual del problema e hipótesis del estudio.

b. **Metodología:** describir en forma precisa el procedimiento realizado para comprobar la hipótesis y los recursos empleados en ello.

c. **Resultados:** expresar el producto del trabajo con claridad; se pueden presentar también datos de medición o cuantificación.

d. **Discusión:** interpretar los resultados de acuerdo con estudios similares, enunciar ventajas del estudio, sus aportaciones, evitando adjetivos que elogien los resultados.

e. **Conclusiones:** precisar qué resultados se obtuvieron y si permitieron verificar la hipótesis, plantear perspectivas del estudio, la aplicación de los resultados.

f. **Referencias bibliográficas:** enlistar en orden alfabético las principales fuentes bibliográficas consultadas y citadas, siguiendo las normas de la APA vigentes. Cuanto sea aplicable, debe incluir el DOI (*Digital Object Identifier*).

Artículos de Divulgación

Corresponde a artículos de temas relevantes de ciencia, tecnología, entre otros, que van dirigidos al público profesional y académico, por lo que deben ser escritos en lenguaje claro y accesible. La presentación del contenido dependerá de la naturaleza del tema, sin embargo, se recomienda la estructura general del artículo de investigación. Se establece hasta un máximo de tres autores para artículos de revisión documental, en general para aquellos que no contemplen investigación experimental o análisis de datos cuantitativos.

En general, las normas de redacción, presentación de tablas y gráficos, uso de citas de cualquier tipo, señalamientos de autores, referencias bibliográficas y electrónicas y otros aspectos editoriales deben ajustarse a las Normas de la “*American Psychological Association*” (APA). Como orientación para los autores en la presentación de las referencias bibliográficas, a continuación, se presentan los casos más usados:

Libro:

Gutiérrez, H. (2020). *Calidad Total y Productividad, quinta edición*. McGraw-Hill Interamericana de España.

Revista (Publicaciones periódicas):

Lima, L. & Tinoco, M. (2022). Avaliação da percepção de valor do cliente de jornais digitais: estudo de caso de uma empresa jornalística na região sul do Brasil. *Revista Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias*, 8(28), 27–52. <https://doi.org/10.54139/riiant.v8i28.377>

Instrucciones de Envío

Para enviar un artículo es necesario que el documento cumpla estrictamente con los lineamientos de formato y de contenido anteriormente especificados. **No se aceptarán trabajos que no cumplan con las normas establecidas en este documento.** Deben enviarse tres (3) ejemplares del trabajo a la siguiente dirección: Comité Editorial de la Revista “*Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias*”, Escuela de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Avenida Universidad, Naguanagua, Estado Carabobo, Venezuela; Código Postal 2005. Teléfono: (58)-424-4194096

De los tres (3) ejemplares, dos (2) deben venir sin identificación para ser asignados al Comité de Arbitraje de la Revista. El trabajo debe enviarse grabado en un (1) CD. También, se aceptarán trabajos a través de la siguiente dirección electrónica: revistaiiynt@gmail.com, con copia a revistaiiynt@uc.edu.ve.

Sistema de arbitraje

Todos los trabajos a publicarse se someterán a un proceso de evaluación anónima (revisión ciega) por parte de especialistas (revisión por pares), donde participan evaluadores externos. Antes de enviar el trabajo (sin identificación) al Comité Científico para el proceso de arbitraje, el Comité Editorial revisa el cumplimiento de los requisitos de forma y el ajuste a los objetivos de la Revista, por lo que podrá realizar correcciones gramaticales y modificaciones literarias, que no alteren el sentido sin consultar con el autor.

De acuerdo con el formato establecido, el Comité Científico podrá dictaminar si el trabajo es: Publicado sin correcciones, Publicado después de correcciones, Publicado después de corregir extensivamente y No publicar. Una vez realizado el arbitraje por parte del Comité Científico, el Comité Editorial recopila los resultados y los envía a los autores. Cualquier controversia en el dictamen será resuelta por el Comité Editorial.

Generalidades

Los contenidos de los trabajos que aparecen en la Revista “*Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*” son de la entera responsabilidad de sus autores. De ser aceptado el trabajo, el autor principal recibirá tres (03) y los co-autores dos (02) ejemplares del número de la Revista en la cual haya sido publicado su trabajo; o, la versión digital vía correo electrónico.

Los artículos publicados en la Revista “*Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias*” son de su propiedad, por lo que se reserva los derechos de distribución de los contenidos. Podrán ser reproducidos con autorización escrita del Editor.

La Revista “*Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias*” es de distribución gratuita. Para su canje contactar al Comité Editorial revistaiiynt@gmail.com, <revistaiiynt@uc.edu.ve>.

Comité Editorial
Diciembre, 2023

Editorial

Artículos de investigación

- **Modelo de regresión para la estimación de consumo de combustible. Caso de estudio: Lavandería de prendas de vestir** 7-14
Regression model for estimating fuel consumption. Case Study: Clothing Laundry
Eduardo Vargas Cano
- **Redes neuronales artificiales como sistema de soporte al proceso de toma de decisiones estratégicas. Un caso de estudio** 15-24
Artificial neural networks as a support system to the strategy decision making process. A case study
Luciana B. Tabone, Verónica A. Mortara
- **Evolución del liderazgo y la innovación tecnológica: análisis bibliométrico** 25-38
Evolution of leadership and technological innovation: bibliometric analysis
Ana Castillo Torres, Myrna Lezama León, Evangelina Lezama León
- **Análisis del riesgo biomecánico en el personal de una empresa del sector energético de Colombia** 39-49
Analysis of biomechanical risk in the personnel of a company in the energy sector in Colombia
Julián Silva Rodríguez, Angel Zipaquirá Vargas
- **Métodos de avaliação discente na educação em engenharia para a formação baseada em competências** 50-72
Methods of student assessment in engineering education for competency-based education
Letícia Guterres Duarte, Maria Cannarozzo Tinoco

Artículos de divulgación

- **Reconocimiento de símbolos matemáticos manuscritos con técnicas de cadenas ocultas de Markov** 75-84
Recognition of handwritten mathematical symbols using hidden Markov models techniques
Luis Angel Rodríguez, Nathylin C. Mendoza, Franzyuri Hernández F.
- **Disrupción tecnológica: innovación, metaverso, inteligencia artificial** 85-95
Technological disruption: innovation, metaverse, artificial intelligence
Ero Del Canto, José David Mercado

Normas para publicación 96-97