



INGENIERÍA INDUSTRIAL



43

FONDO
EDITORIAL

Revista de la Facultad de
Ingeniería y Arquitectura

Diciembre
2022



UNIVERSIDAD
DE LIMA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

Ingeniería Industrial

Revista de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura
de la Universidad de Lima
Carrera de Ingeniería Industrial
Núm. 43, diciembre del 2022
doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n43>

Director

Marcos Fernando Ruiz-Ruiz, Universidad de Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0001-5147-8512>

Editora

María Teresa Noriega Aranibar, Universidad de Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0001-6824-1415>

Editor asociado

Edilberto Miguel Avalos Ortecho, Universidad de Lima, Perú

© Universidad de Lima
Fondo Editorial
Av. Javier Prado Este 4600
Urb. Fundo Monterrico Chico, Lima 33
Apartado postal 852, Lima 100, Perú
Teléfono: 437-6767, anexo 30131
fondoeditorial@ulima.edu.pe
www.ulima.edu.pe

Edición, diseño, diagramación y carátula: Fondo Editorial de la Universidad de Lima

Publicación semestral

Los trabajos firmados son de responsabilidad de los autores. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta revista, por cualquier medio, sin permiso expreso del Fondo Editorial.

Ingeniería Industrial se encuentra registrada bajo la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY)

ISSN 2523-6326

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú n.º 2020-08605

COMITÉ EDITORIAL

Gabriela Laura Gallardo, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-1426-8430>

Wilfredo Román Hernández Gorrutti, Universidad de Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-6122-4935>

Silvia Ponce Álvarez, Universidad de Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0003-1583-7113>

José Zayas-Castro, University of South Florida, Estados Unidos
<https://orcid.org/0000-0001-7374-3479>

Marcos Leandro Silva Oliveira, Universidad de la Costa, Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-7771-5085>

Hugo Romero-Bonilla, Universidad Técnica de Machala, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-7846-0512>

Neyfe Sablón Cossío, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-6691-0037>

Marco Antonio Díaz Martínez, Tecnológico Nacional de México, México
<https://orcid.org/0000-0003-1054-7088>

Clara Inés Pardo Martínez, Universidad del Rosario, Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-8556-319X>

COMITÉ CIENTÍFICO

Dra. Ruth Isabel Murrugarra Munares, Universidad Adolfo Ibáñez, Chile,
<https://orcid.org/0000-0002-7043-7983>

Dr. Igor Lopes-Martínez, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba,
<https://orcid.org/0000-0002-1249-8833>

Dra. Maria Julia Brunette, The Ohio State University, Estados Unidos,
<https://orcid.org/0000-0001-7932-5964>

Dra. María Lau, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú,
<https://orcid.org/0000-0001-9058-7789>

Dr. Fabricio Paredes-Larroca, Universidad de Lima, Perú,
<https://orcid.org/0000-0001-8857-9253>

Dr. Alberto Edel León, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina,
<https://orcid.org/0000-0002-2260-3086>

Dr. Alexandre Carlos Brandão Ramos, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Brasil,
<https://orcid.org/0000-0001-8844-5116>

Dra. Martha Ruth Manrique Torres, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia,
<https://orcid.org/0000-0002-3870-4965>

Dr. Yonni Angel Cuero Acosta, Universidad del Rosario, Colombia,
<https://orcid.org/0000-0001-9565-3968>

Dr. Lei Zhao, Tsinghua University, China
<https://orcid.org/0000-0002-1028-9632>

Dra. Iara Tammela, Universidade Federal Fluminense, Brasil,
<https://orcid.org/0000-0002-8914-6326>

Dra. Marcela Amaro Rosales, Universidad Nacional Autónoma de México,
Instituto de Investigaciones Sociales México,
<https://orcid.org/0000-0002-1647-890>

COMITÉ EVALUADOR

Ana María Medina	Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú
Neyfe Sablón	Universidad Técnica de Manabí, Manabí, Ecuador
Ailen Estévez	Universidad de Las Tunas, Las Tunas, Cuba
Isabel Cristina Paz Astudillo	Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia
Camila Vives	Universidad Tecnológica Nacional, Rosario, Argentina
Arturo Bofill	Universidad Metropolitana del Ecuador, Machala, Ecuador
Edmundo Arroyo	Universidad de Lima, Lima, Perú
Miguel Ángel Enríquez	Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador
José Antonio Taquía	Universidad de Lima, Lima, Perú
Reina Román	Instituto Tecnológico Superior de Pánuco, Pánuco, Veracruz
Alexander Flórez	Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá, Colombia
Virginia López Torres	Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, México
Fernando Kleeberg	Universidad de Lima, Lima, Perú
Guillermo Davies	Universidad de Lima, Lima, Perú
Dinau Velasco Lorenzo	Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú
Carlos Ibarra Villanueva	Universidad de Atacama, Copiapó, Chile
Antonio Hueta Estévez	Instituto Tecnológico de Veracruz, Veracruz, México
Fernando Blanco	Universidad de la Xunta de Galicia, La Coruña, España
Daime Padilla	Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría, La Habana, Cuba

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	9
FOREWORD	11
GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN / PRODUCTION MANAGEMENT	13
Evaluación logística de una pyme como estrategia para su desempeño organizacional	15
<i>Anice del Ángel-Coronel, Ernestina Hernández-Osorio, Fabiola Sánchez-Galván, Rogelio García-Rodríguez</i>	
El plan maestro de producción y la incertidumbre en el sector manufactura: una revisión sistemática de la literatura	35
<i>Gustavo Adolfo Luna-Victoria-León, Martín Fidel Collao-Díaz, Jorge Antonio Corzo-Chávez, Richard Nicholas Meza-Ortiz</i>	
Diseño de un sistema de control de inventario de una tienda de juguetes	61
<i>Abdel Bermudes del Sol, Neyfe Sablón-Cossío, Edison Ismael Escobar Barroso, Ricardo Larry Castro Coello, Rogelio Suárez-Mella</i>	
Descripción de prácticas de administración de operaciones aplicadas a la gestión de servicios hospitalarios: un análisis de la literatura	81
<i>Yasniel Sánchez Suárez, Shabelis de la Caridad Estupiñán López, Maylín Marqués León, Arialys Hernández Nariño, Alberto Arnaldo Medina León</i>	
CALIDAD Y MEDIOAMBIENTE / QUALITY AND ENVIRONMENT	101
Determinación del rendimiento de la biodegradación de residuos de aceite lubricante retenidos en bentonita usando el consorcio bacteriano <i>oil eating microbes</i> (<i>Rodhococcus</i>, <i>Pseudomonas</i> y <i>Bacillus</i>)	103
<i>Jaqueline Heidy Chirre Flores, Osiris Feliciano Muñoz, Roberto Robles Calderón</i>	
Influencia de la posición del sensor MQ-6 y el tiempo transcurrido en la detección de concentración de GLP en una fuga doméstica	117
<i>Alejandro Bueno Vera, Gianfranco Luis Ortiz, José Antonio Taquía Gutiérrez</i>	

Evaluación de la obtención de carbón activado a partir de lodos de depuradoras de aguas residuales de la comunidad de Valencia: revisión bibliográfica	137
<i>Heraldo Manuel Betancourt Romero, Byron Gonzalo Lapo Calderón, José Humberto Ayala Armijos</i>	
INGENIERÍA DE NEGOCIOS / BUSINESS ENGINEERING	159
Cuadro de mando integral en la empresa de servicios ARPAZ Co.	161
<i>Tito Franklin Arteaga, Renier Esquivel García</i>	
PROYECTOS EMPRESARIALES INDUSTRIALES / INDUSTRIAL BUSINESS PROJECTS	175
Análisis del desarrollo y potencial de la energía eólica en el Perú	177
<i>Andrés Gordillo Valdez, Mateo Montoya Granda, Pedro Arturo Salinas Pedemonte</i>	
CIENCIA Y TECNOLOGÍA / SCIENCE AND TECHNOLOGY	199
Análisis de los planes de estudio y el ejercicio profesional de la Ingeniería Industrial en los países de la Alianza del Pacífico	201
<i>Luis Alberto González Araujo, Sonia Alexandra Jaimes Suárez, Luz Marina Patiño Nieto, Joseph Voelkl Peñaloza, Carolina Rico Restrepo</i>	
AUTORES	227

PRESENTACIÓN

Los ingenieros constituyen un colectivo que se caracteriza por su siempre atenta mirada hacia los retos que los cambios sociales nos imponen. La sólida formación y la mirada multidisciplinar, que buscan hacer frente a los problemas actuales, les permiten una especial capacidad de adaptación y resiliencia para seguir encontrando soluciones integradoras.

En un contexto donde vamos recuperando la normalidad después de la pandemia, la actividad académica en el campo que nos atañe no ha cesado y —por el contrario— ha tomado un impulso relevante a todo nivel. Nuestra capacidad de adaptarnos durante la adversidad y de reconocer que nuestra tarea profesional cumple un rol preponderante en épocas de crisis se ha evidenciado en las diferentes actividades de investigación vinculadas con nuestra área de conocimiento. En este particular contexto, presento a la comunidad académica nacional e internacional la edición n.º 43 de la revista *Ingeniería Industrial* de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima.

En este nuevo número, donde seguimos celebrando el trigésimo aniversario de nuestra revista y los sesenta años de nuestra casa de estudios, se presentan los hallazgos de interesantes investigaciones efectuadas por académicos de Colombia, Cuba, Ecuador, México y del Perú, vinculados con temas de producción industrial, logística, gestión de servicios, alimentos, educación en ingeniería, energía, medio ambiente, entre otros.

Finalmente, quiero reconocer el importante trabajo que desempeña el equipo editorial y agradecer a los autores y revisores participantes en esta nueva edición, cuyos valiosos comentarios han contribuido a la calidad de los artículos aquí presentados.

Marcos Fernando Ruiz-Ruiz
Director

FOREWORD

Engineers are characterized by always being attentive to the challenges that social changes force upon us. Their solid training and multidisciplinary outlook, which seeks to deal with current problems, allow them a remarkable capacity for adaptation and resilience to continue finding integrative solutions.

In a context where we are coming back to normality after the pandemic, academic activity in the field that concerns us has not ceased and —on the contrary— has gained significant momentum at all levels. Our ability to adapt during adversity and to recognize that our professional task plays a preponderant role in times of crisis has been evidenced through the different investigative activities linked to our area of knowledge. In this particular context, I present to the national and international academic community the 43rd edition of the *Industrial Engineering* magazine of the Industrial Engineering career of the University of Lima.

In this new issue, where we continue to celebrate the thirtieth anniversary of our journal and our university's 60th anniversary, exciting research initiatives carried out by scholars from Colombia, Cuba, Ecuador, Mexico, and Peru are presented, linked to issues of industrial production, logistics, service management, food, engineering education, energy, environment, among others.

I want to acknowledge the vital work carried out by the editorial team and thank the participating authors and reviewers of this new edition. Their valuable comments have contributed to the quality of the articles presented here.

Marcos Fernando Ruiz-Ruiz
Director

**GESTIÓN
DE LA PRODUCCIÓN**

Production Management

EVALUACIÓN LOGÍSTICA DE UNA PYME COMO ESTRATEGIA PARA SU DESEMPEÑO ORGANIZACIONAL

ANICE DEL ÁNGEL-CORONEL *

<https://orcid.org/0000-0001-6154-3920>

ERNESTINA HERNÁNDEZ-OSORIO

<https://orcid.org/0000-0003-3281-4722>

FABIOLA SÁNCHEZ-GALVÁN

<https://orcid.org/0000-0002-6534-3210>

ROGELIO GARCÍA-RODRÍGUEZ

<https://orcid.org/0000-0003-1526-4087>

Tecnológico Nacional de México – ITS Tantoyuca, Subdirección de Postgrado e Investigación, Veracruz, México

Recibo: 20 de junio del 2022 / Aceptado: 11 de julio del 2022

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n43.5914>

RESUMEN. La presente investigación estudia una pyme mexicana, dedicada a la fabricación de productos de limpieza ecológicos y de cuidado personal, con un enfoque logístico que permita analizar su cadena de suministro e identificar áreas de oportunidad. La metodología incluyó la recolección de datos, el análisis de la cadena de suministro, la evaluación logística, la revisión de indicadores logísticos de gestión y almacén, así como la implementación del modelo SCOR interpretado en tres niveles de procesos (superior, configuración y de elementos), cada uno evaluado por indicadores clave de desempeño. Cada indicador fue dividido en atributos de rendimiento (flexibilidad, activos, velocidad de atención, fiabilidad en cuestión de cumplimiento y costos). Se aplicó la herramienta DNA Logistik con el propósito de detectar el nivel de madurez y riesgo de las operaciones logísticas. Como resultado, se identifica la relevancia de cinco funciones logísticas en la cadena de suministro (aprovisionamiento, producción, almacenaje, transporte, venta omnicanal), además, se compararon los resultados con 326 registros de otras pymes en DNA Logistik en el sector de comercio al por menor.

PALABRAS CLAVE: cadena de suministro / indicadores logísticos / modelo SCOR

* Correos electrónicos en orden de aparición: anice.coronel@gmail.com; ernestina.hdez@hotmail.com; fabiola.sanchez@itsta.edu.mx; rogelio.garcia@itsta.edu.mx

LOGISTICS EVALUATION OF AN SME AS A STRATEGY FOR ITS ORGANIZATIONAL PERFORMANCE

ABSTRACT. This research studies a Mexican SME dedicated to manufacturing ecological cleaning and personal care products. A logistics approach allowed us to analyze its supply chain and identify areas of opportunity. The methodology included data collection, supply chain analysis, logistics evaluation, management, review of warehouse logistic indicators, and the SCOR model's implementation at three process levels (superior, configuration, and elements), each evaluated by key performance indicators. Each indicator was divided into performance attributes (flexibility, assets, speed of service, reliability in compliance, and costs). The DNA Logistik tool was applied to detect the maturity level and risk of logistics operations. As a result, the relevance of five logistics functions in the supply chain (supply, production, storage, transportation, and omnichannel sales) was identified. In addition, the results were compared with 326 records of other SMEs in DNA Logistik in the retail sector.

KEYWORDS: supply chain / logistics indicators / SCOR model

1. INTRODUCCIÓN

Las empresas utilizan métodos y técnicas para mejorar su desempeño y toman decisiones estratégicas para ser competitivas, alcanzar la calidad, minimizar costos y producir productos y servicios (Ikatinasari et al., 2020).

La cadena de suministro (CS) se define como la unión de las personas y organizaciones involucradas en la planificación, diseño, control, flujo de información y materiales implicados directa o indirectamente, como medida de desempeño de los recursos de la empresa para lograr objetivos específicos (Janaki, 2019); se compone de proveedores, transporte, almacenamiento, mayoristas, minoristas y clientes; proporciona productos o servicios a través de fábricas y distribución a clientes finales (Sarjono et al., 2017).

Se considera que la CS es competitiva de acuerdo con criterios como calidad, precio, tiempo de entrega y otros tangibles e intangibles (Chahid, 2019); es evaluada por medio de una selección de indicadores de medición, el desempeño y las herramientas con metodologías adecuadas (Prasetyaningsih et al., 2020); establece políticas y estrategias de mejora (Salas-Navarro et al., 2017) y análisis para el control y evaluación de sistemas de costos logísticos, con visión del sostenimiento y la transformación (Lemghari et al., 2018a).

Las micro, pequeñas y medianas empresas tienen una cultura organizacional que se resiste al desarrollo e innovación tecnológica. Comúnmente, estas empresas no tienen plan estratégico, ni cuentan con una apropiada organización e, incluso, carecen de una base de datos para apoyo en la toma de decisiones (Carballo-Mendivil y Arellano González, 2019), por ignorancia o miedo al cambio que supondrán los procesos aplicados (Franco Muskus, 2015). La dificultad también radica en los escasos recursos que se tienen, los cuales deben ser empleados de forma eficiente para el máximo aprovechamiento (Gómez Díaz, 2019).

Las pymes requieren utilizar técnicas y herramientas para mejorar su desempeño y rendimiento en la CS (Khalil et al., 2019), así como el compromiso organizacional y la asignación de responsabilidades a los pilares involucrados (Kot et al., 2020), esto con la finalidad de obtener ahorro de costos o una ganancia financiera y con ello mayor ganancia neta (Yang et al., 2021).

De esta manera, su impacto en la economía y en la sociedad en general permite a las organizaciones incrementar su productividad, hacerse más competitivas y viabilizar su participación en un mercado internacional o global (Manrique Nugent et al., 2019). Ahora bien, la capacitación al personal logístico en el manejo de herramientas tecnológicas y científicas permite optimizar procesos, mejorar la distribución de bienes o servicios, control de almacenamiento, monitoreo de transporte y control de inventario (Quijije Miraflores, 2021).

Un problema para las pymes es la incorporación de tecnología sin la previa capacitación del personal para ponerla en práctica (Birkel et al., 2019), así como la falta de mantenimiento que puede causar impactos económicos, sociales y ambientales (Kumar et al., 2019). El modelo SCOR es una alternativa para la gestión de la CS, pues trabaja en identificar y analizar a profundidad todos los procesos y procedimientos para modelar indicadores claves de rendimiento, comparar estrategias y alternativas desde los proveedores hasta llegar al consumidor final (Minculete y Olar, 2019). Se utiliza para manejar, mejorar y comunicar las decisiones, permite a la empresa determinar y evaluar rápidamente el rendimiento de la CS y otras operaciones en su organización, consta de los siguientes procesos: planificación, aprovisionamiento, fabricación, logística, devolución, habilitación (Girjatovics et al., 2018).

El modelo SCOR ha sido aplicado en diversas organizaciones: en el modelo de una CS de productos críticos para poblaciones que sufren de desastres naturales, donde mejora la entrega de dichos productos a las personas afectadas (Zuniga et al., 2018), en la industria del periódico es un método adecuado para calcular el desempeño de la CS y los resultados pueden ser usados a futuro para la validación de indicadores (Putri et al., 2017) o en una fábrica de baterías en la que ayuda a determinar un plan de mejora a través de una clasificación de desempeño para que la empresa pueda sobrevivir y competir con otras organizaciones (Yuniaristanto et al., 2020).

El presente artículo propone estudiar una pyme dedicada a la elaboración y comercialización de detergentes líquidos ecológicos con un enfoque logístico que permita analizar la CS priorizando la identificación de áreas de oportunidad. Este trabajo contribuye a incentivar la aplicación de herramientas logísticas en pequeñas empresas para la mejora de su desempeño organizacional y ayudar a que puedan mantenerse en el mercado local y/o nacional.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caso de estudio

Se presenta el caso de estudio de una pyme dedicada a elaborar y distribuir productos ecológicos para limpieza, ubicada en el estado de Nuevo León. Cuenta con diez empleados y un encargado de almacén. La comercialización de sus productos se realiza en dos puntos de venta, los cuales ofrecen servicio a domicilio con un costo extra dependiendo de la zona y envíos a toda la república mexicana.

La pyme se enfoca en cumplir con las necesidades de sus clientes fabricando productos que facilitan las tareas de limpieza en cualquier tipo de espacio y está comprometida con el ambiente y la salud. Ofrece un servicio de alto nivel y buenos tiempos de entrega, lo que va de la mano con la calidad de cada producto.

La materia prima consiste en 39 sustancias utilizadas en la elaboración de productos de limpieza ecológicos suministrados en un periodo mensual por proveedores de distribución y comercialización de productos químicos.

La Tabla 1 muestra el almacenaje mensual del producto terminado con el fin de evaluar el desempeño de dicha actividad.

Tabla 1

Análisis del almacén de producto terminado

Descripción	Mensual
Venta promedio	\$ MXN 10 000,00
Inventario promedio	\$ MXN 6780,00
Unidades dañadas + obsoletas + vencidas	8
Unidades disponibles en inventario	690
Valor del inventario físico	\$ MXN 6900,00
Valor del costo de ventas del mes	\$ MXN 41 441,24
Número de referencias con diferencia	4
Número de referencias inventariadas	300
Valor de las diferencias de inventario en pesos	\$ MXN 50,00
Valor total del inventario en pesos	\$ MXN 3000,00
Costo total de operación de almacenamiento	\$ 1000,00
Número de unidades almacenadas	300
Total de unidades embarcadas	150
Total de trabajadores en embarques	1
Total del área de almacenamiento (m ²)	10
Número de empleados en el almacén	1
Número de embarques cumplidos	60
Total de pedidos embarcados	50

Nota. Elaborado a partir de información proporcionada por la pyme en octubre del 2021.

2.2 Metodología

La metodología utilizada para encontrar áreas de oportunidad en el caso de estudio se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Metodología para encontrar áreas de oportunidad en la pyme



Recolección de datos

Para la recopilación de información se aplicó a los propietarios de la empresa la encuesta de la herramienta DNA Logistik que es de tipo descriptiva y está dividida en cinco categorías: aprovisionamiento, producción, almacenaje, transporte y venta omnicanal. Esta encuesta permite realizar un diagnóstico de la evaluación logística y proporciona una gráfica comparativa con pymes en el sector de comercio al por menor.

Análisis de la cadena de suministro

A través de la implementación del modelo SCOR se analizaron estrategias y alternativas que podrían emplearse en el sistema productivo en tres niveles: nivel superior, nivel de configuración y nivel de elementos de procesos (Calderón y Lario, 2005).

Evaluación logística

A través de la herramienta de perfil logístico de la plataforma DNA Logistik se diagnosticó la gestión de almacenes del caso de estudio a partir del análisis de factores de estrategias, operaciones y recursos con el propósito de detectar el nivel de madurez y riesgo de las operaciones. Los indicadores logísticos, clasificados en dos tipos (indicadores de gestión e indicadores de operación), evaluaron en puntos estratégicos el resultado de cada proceso y el desempeño de la CS.

Las tablas 2 y 3 muestran las fórmulas utilizadas para determinar los indicadores de gestión y de operación.

Tabla 2

Indicadores de gestión

Indicador	Fórmula	
Rotación de mercancías	$\frac{\text{Venta promedio}}{\text{Inventario promedio}}$	Ec. (1) (Bossio, 2016)
Días de inventario de almacén	$\frac{\text{Inventario promedio}}{\text{Venta promedio}}$	Ec. (2) (Bossio, 2016)
Inventario no disponible	$\frac{\text{Costo total de operación de almacenamiento}}{\text{Total de unidades embarcadas}}$	Ec. (3) (Joya, 2017)
Valor del inventario vs. costo de venta	$\frac{\text{Unidades dañadas + obsoletas + vencidas}}{\text{Unidades disponibles en inventario}}$	Ec. (4) (Bossio, 2016)
Precisión de inventario (referencias)	$\frac{\text{Número de referencias con diferencias}}{\text{Número de referencias inventariadas}}$	Ec. (5) (Escobar, 2008)
Precisión de inventario (valor)	$\frac{\text{Valor de las diferencias de inventario en pesos}}{\text{Valor total del inventario en pesos}}$	Ec. (6) (Escobar, 2008)

Tabla 3*Indicadores de operación*

Indicador	Fórmula	
Costo de unidad almacenada	$\frac{\text{Costo total de operación de almacenamiento}}{\text{Número de unidades almacenadas}}$	Ec. (7) (Ramírez, 2020)
Costo por unidad enviada	$\frac{\text{Costo total de operación de almacenamiento}}{\text{Total de unidades embarcadas}}$	Ec. (8) (Bossio, 2016)
Unidades enviadas por empleado	$\frac{\text{Total de unidades embarcadas}}{\text{Total de trabajadores en embarques}}$	Ec. (9) (Bossio, 2016)
Costo por metro cuadrado	$\frac{\text{Costo total de operación de almacenamiento}}{\text{Total área de almacenamiento (m}^2\text{)}}$	Ec. (10) (Joya, 2017)
Costo de envío por empleado	$\frac{\text{Costo total de operación de almacenamiento}}{\text{Número total de empleados en el almacén}}$	Ec. (11) (Iplacex, 2012)
Nivel de cumplimiento en envío	$\frac{\text{Número de embarques cumplidos}}{\text{Total de pedidos embarcados}}$	Ec. (12) (Bossio, 2016)

3. RESULTADOS

3.1 Aplicación del modelo SCOR en la cadena de suministro

El análisis con el modelo SCOR establece los procesos de forma general y cada una de sus operaciones. A partir de allí se aplican las herramientas de las que dispone el modelo, para lo cual se identifica cada una de las actividades, como lo son el aprovisionamiento, producción, almacenaje, transporte y venta omnicanal. Para una mejor comprensión del modelo SCOR se desarrollaron gráficas, tablas y diagramas que permiten visualizar de mejor forma su estructura y alcance.

El modelo SCOR se interpreta en tres niveles de procesos: 1) superior, 2) de configuración y 3) de elementos de procesos.

En el nivel 1 los indicadores de rendimiento son medidas de alta importancia que evalúan diversos procesos en el modelo SCOR. La información proporcionada por el presente caso de estudio se muestra la Tabla 4, en la que se analiza si pertenecen a una medición interna o externa. Posteriormente, en el nivel 2 se identifican las métricas de acuerdo a cada subproceso y aplicación de cada proceso para evaluar la situación actual de la CS en la manufactura de productos de limpieza ecológicos.

Tabla 4

Indicadores de nivel 1

Característica de desempeño	Perspectiva externa			Perspectiva interna	
	Eficacia	Agilidad	Flexibilidad	Valor	Activos
Desempeño en la entrega	X	X		X	
Abastecimiento	X				
Pedidos cumplidos		X		X	
Plazo de pedidos exitosos		X			
Lapso de respuesta de la CS	X		X		
Flexibilidad de la producción			X		
Costos operativos de la CS				X	
Valor de venta				X	
Valor agregado de la utilidad				X	
Periodo del ciclo de pagos					X
Cambio de activos					X

Nota. Elaborado a partir de información de la pyme de octubre 2021.

En la **Tabla 5**, identificada como el mapa de tipos y categorías de procesos del modelo SCOR, se logra identificar métricas arrojadas por el modelo, las cuales se adaptan a la CS de estudio. De esta forma, el nivel 2 se basa en mayor parte en las preguntas realizadas en la encuesta, en la que se obtuvieron datos destacados y establecidos como indicadores en el modelo SCOR.

Tabla 5

Proceso del modelo SCOR, nivel 2

	Plan	Source	Make	Deliver	Return	
	sP1	sP2	sP3	sP4	sP5	
Tipos de procesos		sS1, sS2, sS3, sS5	sM2	sD2	sSR3	Categorías del proceso
	sE1, sE7		sE2, sE8	sE3		

Nota. Elaborado a partir de información de la pyme de octubre 2021.

La **Tabla 6** muestra los indicadores propuestos del modelo SCOR con el fin de medir el desempeño de la CS de la pyme. Si se requiere un mejoramiento de la producción es indispensable que concuerden con los indicadores definidos y planteados en la investigación desde un nivel gerencial.

Tabla 6*Propuesta de indicadores para métricas del desempeño de la CS del caso de estudio*

Categoría	Código modelo SCOR	Indicador
Fiabilidad	RL.1.1	Cumplimiento perfecto de órdenes
	RL.2.1	Número de órdenes entregadas completas
	RL.2.4	Diferentes presentaciones del producto
	RL.2.3	Precisión y diligenciamiento de la documentación
Sensibilidad	RS.2.1	Tiempo promedio del proceso de compra de insumos (días)
	RS.2.2	Tiempo promedio del proceso de compra de insumos (días)
	RS.1.1	Tiempo promedio de entrega de pedidos (días)
Costos de la CS	C.O.1.1	Costo total de gestión de la cadena de suministro
	C.O.2.3	Costo de fabricación
	C.O.2.5.	Costos de devoluciones de pedidos
	C.O.2.8	Costo directo de materiales
	C.O.2.7	Costo directo de mano de obra
Manejo de activos en la CS	A.M.1.1	Ciclo de flujo de efectivo para producción
	A.M.1.3	Retorno sobre capital de trabajo
Agilidad en la CS	A.M.2.4.	Ingresos de la CS
	A.G.1.1	Adaptabilidad de la CS
	A.G.1.4	Valor general de los riesgos

Nota. Elaborado a partir de información de la pyme de octubre 2021.

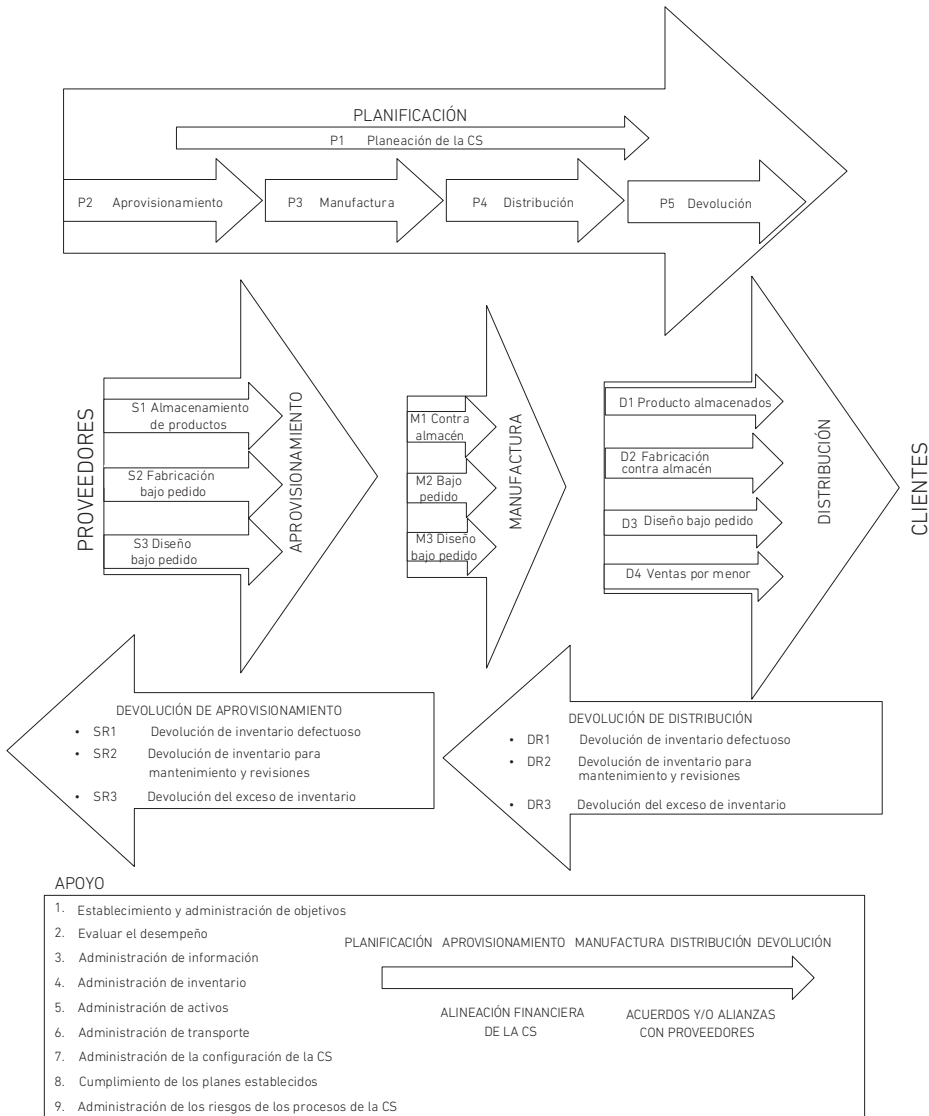
La Figura 2 representa el mapa estandarizado de procesos propuesto por el modelo SCOR en el caso de estudio. En él se define la relación de cada uno de los procesos de la empresa y su correlación con proveedores y clientes y se lo clasifica de acuerdo con el modelo, comenzando desde el proveedor y sus recursos en el área de aprovisionamiento (almacenamiento de productos, fabricación y diseño bajo pedido), pasando posteriormente a la manufactura donde la empresa se basa en la fabricación y diseño bajo pedido y contra almacén, para después distribuir dependiendo de los productos almacenados, fabricación, diseño y ventas al por menor; hasta que llega al cliente final una serie de productos.

Sin embargo, existen dos tipos de devoluciones: devolución de aprovisionamiento y devolución de distribución, por lo que fue indispensable planificar la CS de la pyme y cada uno de sus procesos (aprovisionamiento, manufactura, distribución y devolución) en apoyo de una serie de pasos como el establecimiento y administración de objetivos, evaluación del desempeño, administración de información, inventario, activos, transporte

y la configuración de la CS, así como el cumplimiento de planes establecidos y la administración de los riesgos de los procesos de la CS.

Figura 2

Mapa estandarizado de procesos

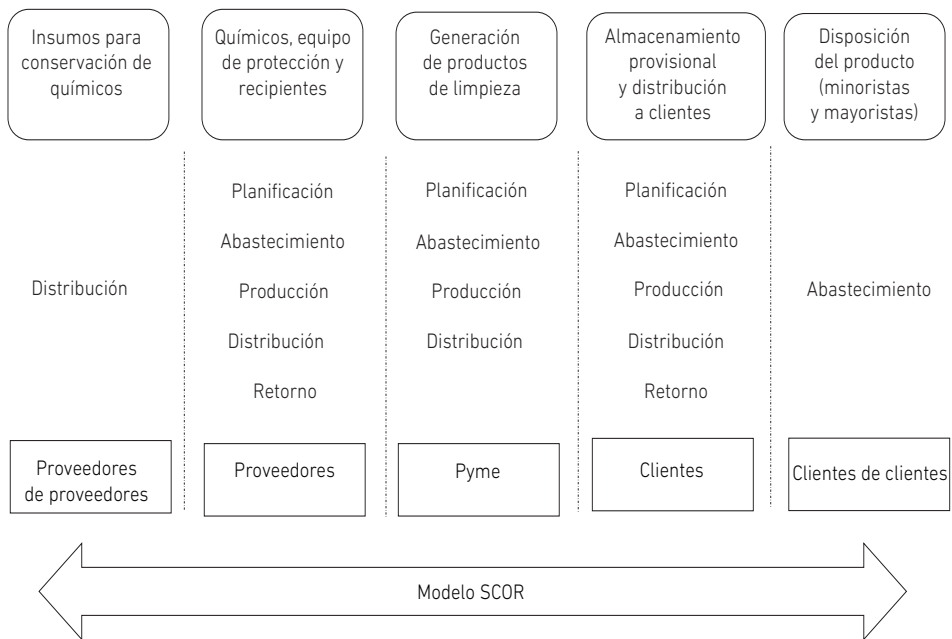


Nota. Elaborado a partir de información de la pyme.

En la Figura 3 se observa cómo el modelo SCOR analiza y supervisa todos los procesos de la CS desde los proveedores de proveedores que se encargan de los insumos para la conservación de químicos, los proveedores de químicos, equipo de protección y recipientes de almacenamiento, el caso de estudio (pyme) donde se fabrican los productos de limpieza, clientes que almacenan de forma provisional y distribuyen a sus propios clientes y finalmente los clientes de clientes que disponen de los productos, por lo cual, se forma un medio para obtener un análisis en profundidad y una mejora total de la CS.

Figura 3

Diseño del Modelo SCOR



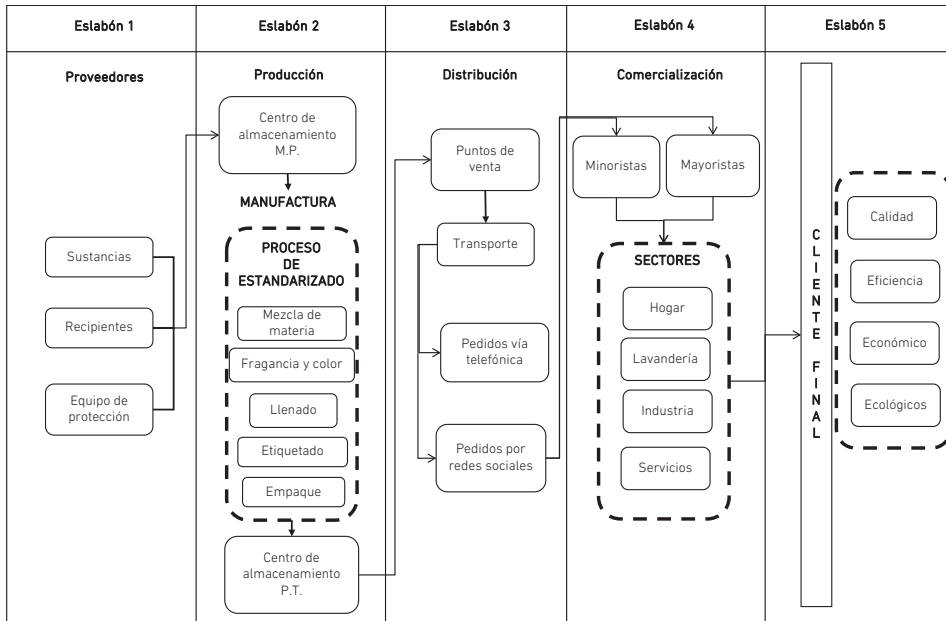
Nota. Elaborado a partir de información de la pyme.

3.2 Análisis de la cadena de suministro

La Figura 4 muestra la cadena de suministro de una pyme dedicada a la elaboración y comercialización de detergentes líquidos ecológicos, la cual está definida por cinco eslabones: 1) proveedores, 2) producción, 3) distribución, 4) comercialización y 5) cliente final.

Figura 4

Cadena de suministro de una pyme dedicada a la elaboración y comercialización de detergentes líquidos ecológicos



Eslabón 1: proveedores

Representa el primer eslabón dentro de la CS. Las fábricas químicas asumen el papel de proveedores. La materia prima se clasifica en 39 tipos de sustancias que son suministrados mensualmente por cinco proveedores de distribución y comercialización de productos químicos. Las sustancias son almacenadas en el centro de almacenamiento en recipientes de conservación y manipulados con equipos de protección otorgados por una fábrica de instrumentos de laboratorio ubicada en el estado de Nuevo León.

Eslabón 2: producción

El segundo eslabón está referido a la producción: se extraen las 39 sustancias del centro de almacenamiento; estas son clasificadas para entrar al área de manufactura, donde son vaciadas en recipientes de mayor tamaño y mezcladas dependiendo el tipo de producto que se requiera obtener. Son sometidas a una coloración y una fragancia durante 30 minutos sin ventilación y, una vez que finaliza el tiempo de espera, son vaciadas en recipientes de tres tamaños: litro, galón y porrón. La etapa final del proceso se basa en etiquetar y organizar los recipientes en grupos de doce litros, cuatro galones

y dos porrones (únicamente se empaacan en cajas las botellas de un litro) y finalmente se los lleva al centro de almacenamiento.

Eslabón 3: distribución

El tercer eslabón cuenta con dos puntos de venta. Se dividen los pedidos en aquellos que llegan de forma telefónica y aquellos que llegan por medio de las redes sociales. Los envíos se realizan por medio de transporte propio, si el destino está situado en el mismo estado (de lo contrario, se considera transporte externo para el resto de la república mexicana, considerando un aumento en sus costos). Los envíos son cumplidos en un periodo de 1 a 5 días máximo y se opera solo con la disponibilidad de inventario actual a menos que exista un cliente que considere el producto fuera de los cinco días hábiles.

Eslabón 4: comercialización

Las negociaciones se hacen directamente y no se basan en un pronóstico de ventas. No hay contratos firmados y la relación entre la empresa y sus clientes se basa en la confianza. La pyme del caso de estudio también comercializa en mercados locales, minoristas y mayoristas. Da a conocer el producto (a través de redes sociales, recomendaciones y dejando tarjetas de presentación) y vende el producto al público en general de cualquier sector (hogar, lavandería, industria y servicios). Los mercados locales y los minoristas son sus principales clientes, dedicados a sectores secundarios y terciarios. Para introducir los productos en el sistema de distribución se establece un calendario de entrega planificado de forma mensual a través de rutas establecidas únicamente en el estado de Nuevo León.

Eslabón 5: cliente final

El cliente final es el último eslabón en la CS, quien usa y se beneficia de los productos a través de su compra. En cuanto a las especificaciones y necesidades del cliente, estas son la calidad, la eficiencia, los bajos costos y el hecho de que los productos sean amigables con el medio ambiente. Los requisitos mínimos para una vida útil del producto son la fragancia, el color, el tamaño y la presentación con el fin de otorgar productos de gran rendimiento.

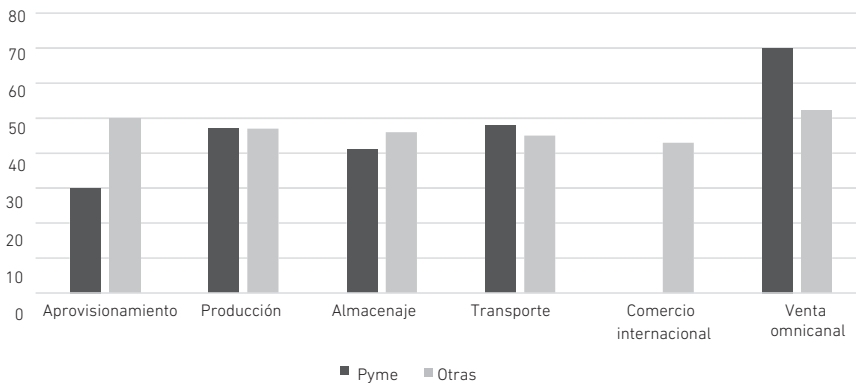
3.3 Evaluación logística

El perfil logístico de la pyme está evaluado en cinco áreas importantes: aprovisionamiento, producción, almacenaje, transporte y venta omnicanal. Cada una de ellas trabaja de una forma moderada, a excepción de las ventas omnicanal en las que se muestra una actividad relevante. Cabe destacar que la evaluación fue a través de los datos obtenidos en la encuesta descriptiva aplicada.

En la Figura 5 se muestra una comparación entre el presente caso de estudio y otras pymes registradas en la herramienta DNA Logistik, un total de 326 en el sector al por menor. Se observa una relevancia en las ventas debido a su flujo de mercancía y en transporte; también una producción moderada e igualitaria con otras pymes, sin embargo, es indispensable su mejora. Existen áreas como el aprovisionamiento y el almacenaje que requieren atención y análisis debido a su inestabilidad y mala organización, lo que significa que la relación con proveedores, compras colaborativas y la optimización del inventario no es óptima. Además, se encuentra ausencia de planificación en los requerimientos de material (surtido de materiales). El comercio internacional aun no es aplicable en caso de esta pyme debido a su reciente creación y crecimiento, por lo tanto, puede considerarse a futuro.

Figura 5

Comparación del presente caso de estudio y otras pymes



Nota. Tomado de DNA Logistik(<https://www.dnalogistik.com/>)

3.4 Indicadores logísticos

La Tabla 7 muestra los resultados arrojados por los indicadores de gestión. En ella se nota una rotación de mercancía factible ya que se obtiene un 40 % más del capital invertido a través de la venta de cualquier producto, además de una duración mínima de 16 horas de mercancía en el inventario, lo que conlleva un gasto mínimo de almacenaje. El nivel de mercancía no disponible por mal estado es tan solo de 1,16 %, lo que significa que el cuidado de la producción y su almacenamiento es de alta calidad; el control del valor del inventario promedio respecto a las ventas nos muestra más del 16 % de valor, con el fin de obtener ganancias que equilibren las compras de materia prima. Es de vital importancia controlar y medir la exactitud en los inventarios con el fin de mejorar la confiabilidad. En este aspecto los registros y los estados físicos del inventario se diferencian tan solo en un 0,34 % y su control de inventarios ronda el 98 %.

Tabla 7*Indicadores de gestión y de operación del almacén del producto terminado*

Tipo de indicador	Descripción	Mensual
Gestión	Rotación de mercancía	1,47 unidades de valor
	Días de inventario de almacén	0,67 días
	Inventario no disponible	1,16 %
	Valor del inventario vs. costo de venta	16,65 %
	Precisión de inventario (referencias)	1,33 %
	Precisión de inventario (valor)	1,67 %
Operación	Costo de unidad almacenada	\$ 3,33 por unidad
	Costo por unidad enviada	\$ 6,67
	Unidades enviadas por empleado	150
	Costo por metro cuadrado	\$ 100,00
	Costo de envío por empleado	\$ 1000
	Nivel de cumplimiento en envío	30 %

Nota. Elaborado a partir de información de la pyme de octubre 2021.

Los indicadores de operación que se observan en la Tabla 7 muestran la relación del costo de almacenamiento y el número de unidades almacenadas en un periodo mensual que refleja un gasto de \$ 3 MXN por cada producto que se encuentre sin vender y, en el caso contrario de vender el producto, se estima un gasto de \$ 6 MXN por envío al cliente, lo que conlleva que el inventario genere gastos mínimos de almacenaje y el envío sea cubierto por el cliente a un costo mínimo. Cada empleado se estima que realiza un envío mensual de 150 pedidos, lo que representa una adecuada contribución en las ventas y una adecuada movilización de mercancía mensual. Debido a este flujo de mercancía, el costo de almacenaje es de \$ 100 MXN por metro cuadrado, lo cual evita que el 70 % de incumplimiento de envíos consuma los ingresos totales de la pyme; sin embargo, se requiere una mejora en la distribución de pedidos.

3.5 Áreas de oportunidad

El presente estudio identificó tres oportunidades de mejora en la CS de productos de limpieza y cuidado personal: almacenaje no óptimo, deficiente transportación de productos e inadecuada gestión de compras (aprovisionamiento).

Almacenaje no óptimo

La pyme carece de políticas para el manejo del inventario, lo que genera una mala administración del mismo con respecto a su ubicación, el nivel de stock y su valoración. Debe

considerarse el uso de software que gestione la entrada y salida de inventario y los pedidos, debido a que manejan la mayor parte en papel y hojas de cálculo de Excel.

Deficiente transportación de productos

No existe transporte propio para la distribución de productos al resto de la república, por lo cual la comisión extra se adquiere por un transportista externo con una deficiente programación de rutas de despacho, lo que elimina la prioridad y seguimiento de la entrega y, con ello, el nivel de cumplimiento es de un 30 %.

Inadecuada gestión de compras (aprovisionamiento)

La pyme carece de una evaluación de desempeño de los proveedores que logre considerar cantidades atendidas, tiempo de reposición, cumplimientos comerciales y calidad, con el fin de fortalecer una adecuada relación comercial. Además, el número de órdenes de compra mensuales se ha vuelto escaso por la falta de suministros y confiabilidad en los tiempos de entrega de los proveedores.

4. DISCUSIÓN

El sistema de producción en estudio muestra la interacción de diversos procesos dentro de la CS para la comercialización de sus productos. Lograr un mejor enfoque de la CS requiere suministrar, hacer, entregar, planear y reciclar mediante el modelo SCOR (Nugroho y Sulistyowati, 2018). Sin embargo, en esta investigación no existen diversos niveles en cada uno de los procesos debido a su reciente desarrollo, lo que hace compleja su implementación.

El modelo SCOR brinda de manera fácil beneficios a las empresas que lo utilizan para identificar problemas en la cadena de suministro (Lemghari et al., 2018b). En este estudio se identificaron tres áreas de oportunidad que conducen a crear estrategias de mejoramiento a futuro. Por otro lado, el modelo tiene varias limitaciones en su implementación en el sector de la producción química; existe una gran cantidad de métricas propuestas por el modelo SCOR, lo que hizo que la tarea de seleccionar y rastrear todas estas métricas fuera larga y tediosa. Además, algunas actividades de los subprocesos pueden pertenecer a procesos diferentes.

SCOR es definido como un modelo estándar basado en eslabonar todo tipo de procesos y detectar anomalías en el sistema de producción (Georgise et al., 2012). No obstante, este estudio logró identificar, estructurar y analizar por completo la producción. Sin embargo, esta aproximación sigue siendo insuficiente debido a que no se obtienen recomendaciones estratégicas para solucionar los distintos problemas detectados que impiden mejorar la situación de la empresa. Por tanto, será muy interesante

para futuras investigaciones complementar la detección de áreas de oportunidad con estrategias propuestas por la literatura para la industria química.

5. CONCLUSIONES

El modelo SCOR para el análisis de la CS del presente caso de estudio permitió identificar mejores oportunidades en el sistema de producción química, en el que se determinó el flujo de insumos e información y los procesos que participan. Se propusieron políticas para el manejo de inventario, evaluación de proveedores y un mejor cumplimiento en la entrega de pedidos. Este tipo de modelación ayuda a mejorar el rendimiento de las CS y se integra a todos los eslabones de la misma. Sin embargo, no es recomendable para microempresas debido a que existe una ausencia de varios niveles de aprovisionamiento y de distribución, además de que toma en cuenta otros atributos de cambio que la organización no está en condiciones de hacer por su inicio de operaciones y crecimiento recientes.

Esta investigación contribuye a la comprensión de la influencia del desempeño logístico y su aportación a la decisión estratégica de las pymes. Al proporcionar evidencia empírica acerca de un buen rendimiento logístico posibilita a las pymes, incluso con recursos limitados, aumentar su capacidad para competir en el mercado actual, aprovechar al máximo su abundancia y alcanzar un mejor desempeño organizacional, debido a que la tecnología actual ofrece herramientas para utilizar el mayor número de oportunidades existentes del mercado. Finalmente, se incita a que futuras investigaciones indaguen en la relación entre el aspecto logístico y el desempeño organizacional de las pymes, tratando de identificar variables no incorporadas en el modelo SCOR y que puedan ser importantes para analizar la logística y el desempeño organizacional.

REFERENCIAS

- Birkel, H. S., Veile, J. W., Müller, J. M., Hartmann, E., & Voigt, K. I. (2019). Development of a risk framework for industry 4.0 in the context of sustainability for established manufacturers. *Sustainability*, 11(2), 384. <https://doi.org/10.3390/su11020384>
- Bossio Gaviria, L. F. (2016). *Evaluación de los procesos logísticos mediante la gerencia estratégica* [Tesis de bachiller]. Universidad Militar Nueva Granada. <http://hdl.handle.net/10654/16036>
- Calderón, J. L., & Lario, F. C. (2005, 8 y 9 de septiembre). Análisis del modelo SCOR para la gestión de la cadena de suministro [presentación de escrito]. *IX Congreso de Ingeniería de Organización*. Gijón, España. http://adingsor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2005/cadena_suministros//41.pdf

- Carballo-Mendivil, B., & Arellano González, A. (2019). Modelo de arquitectura de procesos organizacionales: una guía para el análisis y gestión de micro y pequeñas empresas. *Revista Gestión I+D*, 4(2), 47-78. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7468002>
- Chahid, M. T. (2019). Improvement of the SCOR model by the use of the performance measurement system and an aggregation approach based on the nonadditive fuzzy Sugeno integral: A case study for the selection of automotive suppliers. *WSEAS Transactions on Computers*, 18, 231-238. <https://bit.ly/3OgSTj6>
- Escobar Jaramillo, S. (2008). *Indicadores de gestión logística para Compañía Nacional de Chocolates S.A.* [Tesis de grado]. Escuela de Ingeniería de Antioquia. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/3224>
- Franco Muskus, J. C. (2015). *Estudio de Grupo Jacobsen Fotografía SAS bajo el enfoque del modelo SCOR* [Tesis de bachiller]. Repositorio Institucional Séneca. Universidad de los Andes. <http://hdl.handle.net/1992/17185>
- Georgise, F. B., Thoben, K. D., & Seifert, M. (2012). Adapting the SCOR model to suit the different scenarios: a literature review & research agenda. *International Journal of Business and Management*, 7(6), 2-17. https://www.academia.edu/33065451/Adapting_the_SCOR_Model_to_Suit_the_Different_Scenarios_A_Literature_Review_and_Research_Agenda
- Girjatovics, A., Psoa, L. M., & Kuznecova, O. (2018, 10-12 octubre). *Establishing Supply Chain process framework based on SCOR model: case study* [presentación de escrito]. 59th International Scientific Conference on Information Technology and Management Science of Riga Technical University, Riga, Letonia. <http://dx.doi.org/10.1109/ITMS.2018.8552963>
- Gómez Díaz, C. S. (2019). *Aplicación del modelo SCOR a pequeñas empresas constructoras para mejorar la gestión de abastecimiento y posibles propuestas de mejora* [Trabajo de grado]. Universidad Militar Nueva Granada. <http://hdl.handle.net/10654/32174>
- Ikasari, N., Sutopo, W., & Zakaria, R. (2020). Performance measurement in supply chain using SCOR model in the lithium battery factory. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 943(1), 012049. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/943/1/012049/pdf>
- Ikatrinasari, Z., Harianto, N., & Yuslistyari, E. (2020). Improvement of supply chain performance of printing services company based on supply chain operation references (SCOR) model. *Uncertain Supply Chain Management*, 8(4), 845-856. <http://dx.doi.org/10.5267/j.uscm.2020.6.001>
- Iplacex Tecnológico Nacional. (2012). *Costo de operaciones logísticas. Unidad II. Los indicadores de gestión logísticos*. https://cursos.iplacex.cl/CED/COL5005/S4/ME_4.pdf

- Janaki, D. (2019). Adapting the SCOR model for supply chain network assessment and improvement in oil industry. *International Journal of Data and Network Science*, 3, 331-338. <http://dx.doi.org/10.5267/j.ijdns.2019.4.003>
- Joya Ochoa, J. J. (2017). *Aplicación de control de inventario para mejorar el almacenamiento de lubricantes en la empresa Transber SA, Independencia, 2017* [Tesis de licenciatura]. Repositorio Digital Institucional. Universidad César Vallejo <https://hdl.handle.net/20.500.12692/12465>
- Khalil, M., Khalil, R., & Khan, S. (2019). A study on the effect of supply chain management practices on organizational performance with the mediating role of innovation in SMEs. *Uncertain Supply Chain Management*, 7(2), 179-190. Doi: 10.5267/j.uscm.2018.10.007
- Kot, S., Haque, A. U., & Baloch, A. (2020). Supply chain management in SMEs: Global perspective. *Montenegrin Journal of Economics*, 16(1), 87-104. Doi: 10.14254/1800-5845/2020.16-1.6
- Kumar, N., Brint, A., Shi, E., Upadhyay, A., & Ruan, X. (2019). Integrating sustainable supply chain practices with operational performance: an exploratory study of Chinese SMEs. *Production Planning & Control*, 30(5-6), 464-478. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1501816>
- Lemghari, R., Okar, C., & Sarsri, D. (2018a). Benefits and limitations of the SCOR model in automotive industries. *MATEC Web of Conferences*, 200, 00019. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201820000019>
- Lemghari, R., Okar, C., & Sarsri, D. (2018b). Supply chain performance measurement: A case study about applicability of SCOR model in automotive industry firm. *MATEC Web of Conferences*, 200, 00016. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201820000016>
- Manrique Nugent, M. A. L., Teves Quispe, J., Taco Llave, A. M., & Flores Morales, J. A. (2019). Gestión de cadena de suministro: una mirada desde la perspectiva teórica. *Revista Venezolana de Gerencia*, 24(88), 1136-1146. <https://repositorio.unah.edu.pe/handle/UNAH/26>
- Minculete, G., & Olar, P. (2019). Functional approaches to SCOR model in the supply chain management processes (Part II). *Review of International Comparative Management*, 20(2), 171-179. <https://doi.org/10.24818/RMCI.2019.2.171>
- Nugroho, D. S., & Sulistyowati, N. (2018). Analysis of performance supply chain management using SCOR method at PT NEO. *International Journal of Latest Research in Engineering and Management*, 2(6), 14-19. http://www.ijlrem.org/papers/V2i6/IJLREM_C026014019.pdf

- Prasetyaningsih, E., Muhamad, C. R., & Amolina, S. (2020). Assessing of supply chain performance by adopting Supply Chain Operation Reference (SCOR) model. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 830(3), 032083. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/830/3/032083/pdf>
- Putri, A. S., Sutopo, W., & Hisjam, M. (2017, 10-13 de diciembre). Framework of supply chain simulation using SCOR model in newspaper industry [presentación de escrito]. *International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Singapur. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2017.8289918>
- Quijije Miraflores, C. F. (2021). *Impacto de la tecnología en la gestión logística de las PYMES guayaquileñas: sector Vía Daule* [Tesis de bachiller]. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19648/1/UPS-GT003093.pdf>
- Ramírez Chalan, D. A. (2020). *Diseño de un sistema de control de inventarios ABC, en la empresa "Bioagro Universal SCC", cantón Joya de los Sachas, provincia de Orellana* [Tesis de licenciatura]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14022>
- Salas-Navarro, K., Maiguel-Mejía, H., & Acevedo-Chedid, J. (2017). Metodología de gestión de inventarios para determinar los niveles de integración y colaboración en una cadena de suministro. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 25(2), 326-337. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v25n2/0718-3305-ingeniare-25-01-00326.pdf>
- Sarjono, H., Suprpto, A. T., & Megasari, L. (2017, 21 al 23 de abril). Supply chain performance measurement using SCOR model in the distribution company in Indonesia [presentación de escrito]. *3rd International Conference on Information Management (ICIM)*, Chengdu, China. <https://doi.org/10.1109/INFOMAN.2017.7950372>
- Yang, S., Zhang, Z., Zhou, J., Wang, Y., Sun, W., Zhong, X., Fang, Y., Yu Q., & Qi, Y. (2021, 7-15 enero). Financial risk analysis for SMEs with graph-based supply chain mining [presentación de escrito]. *Twenty-Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence Special Track on AI in FinTech*, Yokohama, Japón. <https://doi.org/10.24963/ijcai.2020/643>
- Zuniga, R., Icarte, G., Griffiths, J., López, J., & Quezada, J. (2018). Modeling of critical products supply chain required to affected people on earthquakes and tsunamis through use of SCOR model. En M. Freitag, H. Kotzab & J. Pannek (Eds.) *Dynamics in Logistics* (pp. 53-57). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74225-0_7

EL PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN Y LA INCERTIDUMBRE EN EL SECTOR MANUFACTURA: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA

GUSTAVO ADOLFO LUNA-VICTORIA-LEÓN*
<https://orcid.org/0000-0001-5065-5433>

MARTÍN FIDEL COLLAO-DÍAZ
<https://orcid.org/0000-0001-6874-4629>

JORGE ANTONIO CORZO-CHÁVEZ
<https://orcid.org/0000-0002-2771-8528>

RICHARD NICHOLAS MEZA-ORTIZ
<https://orcid.org/0000-0002-9490-2130>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Lima, Perú

Recibido: 6 de junio del 2022 / Aceptado: 30 de junio del 2022

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n43.6108>

RESUMEN. En esta investigación se tocan dos temas relevantes para la ingeniería industrial: los planes maestros de producción (variable dependiente) y la incertidumbre (variable independiente). Esta última se constituye en un factor crítico de impacto en el sector manufactura. Para la investigación se recopilaron artículos científicos relacionados con estas variables con la finalidad de establecer el estado del arte referente al tema. Se recurrió a la búsqueda de información en dos bases indexadas, Scopus y ProQuest, y se la filtró utilizando criterios de inclusión y exclusión mediante el método PRISMA para llegar, finalmente, a contemplar dieciséis artículos de interés para la investigación. Publicados en revistas científicas, estos estudios muestran data importante acerca de las variables descritas y variables adicionales que influyen sobre la incertidumbre y que, de alguna forma, impactan en la elaboración de los planes maestros de producción del sector manufactura.

PALABRAS CLAVE: plan maestro de producción / incertidumbre / sector manufactura / PRISMA

* Correos electrónicos en orden de aparición: Galuna@ulima.edu.pe; MCOLLAO@ulima.edu.pe; Jacorzo@ulima.edu.pe; RNMEZA@ulima.edu.pe

THE MASTER PRODUCTION SCHEDULE AND UNCERTAINTY IN THE MANUFACTURING SECTOR: A SYSTEMATIC REVIEW OF THE LITERATURE

ABSTRACT. This research addresses two relevant topics for industrial engineering: master production plans (dependent variable) and uncertainty (independent variable). The latter constitutes a critical impact factor in the manufacturing sector. For the investigation, we collected articles related to these variables to establish the state of affairs in the specialized literature. We searched for information in two indexed databases, Scopus and ProQuest, and filtered it using inclusion and exclusion criteria derived from the PRISMA method. We identified sixteen scientific journal articles of interest for the investigation at the end of the process. These studies show essential data about the variables described and additional variables that influence uncertainty and that, in some way, impact the preparation of master production schedules in the manufacturing sector.

KEYWORDS: master production schedule / uncertainty / manufacturing sector / PRISMA

1. INTRODUCCIÓN

Según el Fondo Monetario Internacional (2021), en el año 2020 el PBI mundial decreció en 3,3 %, debido a la pandemia del COVID-19. Uno de los sectores que impactan directamente en el PBI es el de manufactura. Según el Banco Mundial (2020), los encargados de plantear las políticas económicas deberán tomar medidas importantes para generar un aumento de la productividad y disminuir la pobreza de millones de habitantes de países en desarrollo.

El aumento de la productividad es vital para el crecimiento de los ingresos y la reducción de la pobreza; sin embargo, ha venido disminuyendo en los países con economías emergentes y en desarrollo desde la crisis financiera de los años 2007-2009.

La desaceleración del crecimiento de la productividad de los últimos años es consecuencia de la reducción de la productividad laboral en varios sectores, entre los cuales el de manufactura es uno de los principales. Los niveles de productividad de los países de economías emergentes y en desarrollo representan menos del 20 % del promedio de los países con economías avanzadas y el de los países de bajos ingresos, tan solo el 2 %.

El estudio integral del Banco Mundial sobre la productividad, editado por Alistair Dieppe (2020), señala que la creciente complejidad y automatización de los procesos de fabricación tiene mayores necesidades de mano de obra calificada y puede hacer que cada vez sea más difícil para los países lograr aumentar su productividad general. Es necesario reducir la incertidumbre al elaborar los planes maestros de producción en las empresas manufactureras y que estas sean más eficientes al utilizar los recursos necesarios para lograr incrementar la productividad.

De acuerdo con el Ministerio de la Producción (s. f.), el sector manufactura en el Perú experimentó un crecimiento del 50,3 %, en el mes de marzo del 2021, recuperándose de la crisis originada por la pandemia.

La producción en el Perú se centra en los sectores pesquería, refinación de metales, refinación de azúcar, agroindustria y ensamblaje de motores y motocicletas. Si bien se experimentó un crecimiento en la producción, este no reflejó cambios en los grados de tecnificación, lo que impide alcanzar altos estándares de competitividad y desarrollo que se requieren para el incremento de la productividad.

En ese sentido, es importante para las industrias incrementar su competitividad a partir de la mejora de sus niveles de productividad y tecnificación. Es indispensable que incorporen, en sus políticas y conocimientos, los conceptos de cadena de suministros que manejan las empresas de clase mundial.

Olhager (2013) estableció una línea de tiempo para la evolución del enfoque de planificación en las operaciones, cuyo aporte se reflejará en el incremento de la productividad del sector manufactura.

Para esta revisión sistemática de la literatura se plantearon las siguientes preguntas que la justifican teóricamente:

- P1: ¿Cómo están clasificados cronológicamente los artículos?
- P2: ¿En qué base de datos se encuentra una mayor cantidad de artículos sobre el plan maestro de producción?
- P3: ¿Qué tipo de estudio es el más utilizado para el plan maestro de producción?
- P4: ¿Cuáles son las herramientas de la planeación más utilizadas?
- P5: ¿Cuáles son las variables que más afectan la elaboración de los planes maestros?
- P6: ¿Cuál sería el aporte de la investigación para las empresas del sector manufactura?

De este modo, se buscará y revisará artículos indizados en fuentes de información con indicadores de calidad —detalladas en el siguiente apartado—, que constituyan estudios e investigaciones relevantes para el tema de la presente investigación.

A partir de esta revisión sistemática se evaluarán la calidad, herramientas y variables empleadas en las investigaciones seleccionadas en la revisión de literatura para su aplicación en la comprensión de la relación entre los planes maestros de producción y la incertidumbre en el sector manufactura.

2. METODOLOGÍA

En la presente investigación se ha utilizado la metodología PRISMA (siglas en inglés de preferred reporting items for systematic reviews and meta analyses).

El proceso de búsqueda de información se realizó considerando como variables de búsqueda y palabras clave (*keywords*): *master production schedule, master production scheduling, manufacturing, safety stock*. Se utilizó el operador booleano “OR” para enlazar y excluir palabras clave entre sí y el operador incluyente “AND”.

Se aplicó la ecuación lógica (búsqueda Master Production Schedule OR Master Production Scheduling; Master Production Schedule OR Master Production Scheduling AND Manufacturing, Master Production Schedule OR Master Production Scheduling AND Safety Stock, Master Production Schedule OR Master Production Scheduling AND Manufacturing AND Safety Stock) como estrategia de búsqueda para filtrar la revisión sistemática.

La búsqueda de literatura científica se realizó en las siguientes bases de datos: Scopus y ProQuest.

Los criterios de inclusión y exclusión que se utilizaron para la revisión de literatura científica fueron los siguientes:

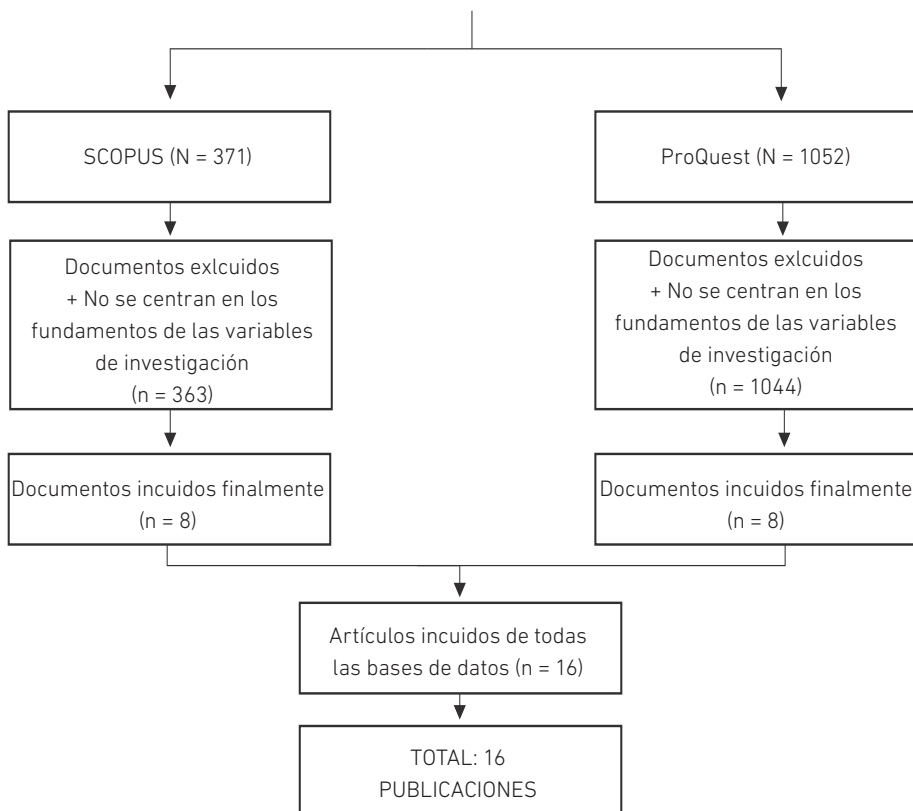
- **Antigüedad:** se ha considerado una antigüedad máxima de 10 años.
- **Tipos de documentos:** solo se han considerado artículos científicos.
- **Palabras clave:** se consideraron frases en inglés como *master production schedule*, *master production scheduling*, *manufacturing*, *safety stock*.

Figura 1

Flujo del proceso de recopilación de fuentes

ECUACIÓN DE BÚSQUEDA

(Production Schedule OR Master Production Scheduling; Master Production Scheduling OR Master Production Scheduling AND Safety Stck, Master Production Schedule OR Master Production Scheduling AND Manufacturing AND Safety Stock)



3. RESULTADOS

El proceso de búsqueda de información se realizó considerando las variables de investigación y los *keywords production schedule, master production scheduling, master production schedule, safety stock y manufacturing*.

Asimismo, se utilizaron los operadores booleanos “OR” para enlazar palabras claves y excluyentes entre sí y un operador incluyente que fue el “AND”.

La búsqueda de la literatura se realizó en las bases de datos: ProQuest y Scopus (véase Tabla 1).

Tabla 1

Resumen de artículos revisados

N.º	Título del artículo	Año	Autores	Revista	Base de datos	Objetivo
A1	Effectiveness of nervousness reduction policies when capacity is constrained	2020	Atadeniz, S. N., & Sridharan, S. V.	<i>International Journal of Production Research</i>	ProQuest Scopus	Determinar, a través de un estudio de simulación, la eficacia de tres políticas de reducción del nerviosismo o imprecisión del plan maestro de producción (MPS) cuando la capacidad de producción está limitada.
A2	A reference model in BPMN for conceptual modelling of master planning schedule	2020	Entringer, T. C., & Ferreira, A. D. S.	<i>Independent Journal of Management & Production</i>	ProQuest	Desarrollar un modelo de referencia de los procesos del plan maestro de producción (MPS) a través un módulo de planificación y control de la producción.
A3	Master production schedule using robust optimization approaches in an automobile second-tier supplier	2020	Martín, A., G., Díaz-Madroño, M., & Mula, J.	<i>Central European Journal of Operations Research</i>	ProQuest Scopus	Determinar, a través de un caso de estudio, cómo minimizar los costos de producción, los costos de tiempo extra y de inactividad y costos de inventario a través de un enfoque robusto de optimización del plan maestro de producción (MPS).

(continúa)

(continuación)

N.º	Título del artículo	Año	Autores	Revista	Base de datos	Objetivo
A4	Mass customisation impact on bill of materials structure and master production schedule development	2016	Chatras, C., Giard, V., & Sali, M.	<i>International Journal of Production Research</i>	ProQuest Scopus	Analizar el impacto de la personalización masiva en la estructura de la lista de materiales y el desarrollo del plan maestro de producción (MPS) en la industria automotriz.
A5	Simultaneous lotsizing and scheduling considering secondary resources: a general model, literature review and classification	2019	Wörbelauer, M., Meyr, H., & Almada-Lobo, B.	<i>OR Spectrum</i>	ProQuest	Determinar que existen factores secundarios que deben ser considerados en la programación y lotización simultánea de la producción.
A6	Dynamic production planning model: a dynamic programming approach	2013	Khaledi, H., & Reisi-Nafchi, M	<i>The International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>	ProQuest Scopus	Optimizar un modelo de programación para la planificación de la producción incluyendo variables estocásticas y transformándolo en un modelo de programación lineal.
A8	Application of production planning and control method in manufacturing enterprise	2015	Bai, X., & Zhu, B.	<i>Management & Engineeringt</i>	ProQuest	Implementar un programa maestro de producción y un plan de requisitos de materiales en el taller de pistones del grupo King Kong. Redujo las horas innecesarias desperdiciadas, evitó el tiempo de inactividad y el fenómeno de espera, de modo que la eficiencia se mejora significativamente.
A9	Fuzzy multi-objective linear programming and simulation approach to the development of valid and realistic master production schedule	2011	Supriyanto, I., & Noche, B.	<i>Logistics Journal</i>	ProQuest Scopus	Utilizar la programación lineal para alcanzar mejores resultados en el MPS como herramienta importante para la toma decisiones en la planificación de producción y ante una serie de variables que pueden afectar su elaboración y asertividad.

(continúa)

(continuación)

N.º	Título del artículo	Año	Autores	Revista	Base de datos	Objetivo
A10	Hybrid fuzzy-stochastic approach to multi-product, multi-period, and multi-resource master production scheduling problem: Case of a polyethylene pipe and fitting manufacturer	2018	Razavi Hajiagha, S.H., Sadat Hashemi, S., & Sadeghi, M.	<i>Scientia Iranica</i>	ProQuest Scopus	Demostrar la aplicabilidad de la programación lineal en la elaboración de MPS a través de su aplicación en la industria del polietileno.
A11	Improving performance with sophisticated master production scheduling	2015	Jonsson, P., & Kjellsdotter I. L.	<i>International Journal of Production Economics</i>	ProQuest Scopus	Incentivar el uso de tecnología de la información para la elaboración del MPS considerando diferentes objetivos empresariales.
A12	Evolution of operations planning and control: From production to supply chains	2013	Olhager, J.	<i>International Journal of Production Research</i>	ProQuest Scopus	Exponer las distintas herramientas de planificación de operaciones que se han ido desarrollando en el tiempo y que son importantes para la gestión.
A13	Improving data consistency in production control	2016	Reuter, C., & Brambring, F.	<i>Procedia CIRP</i>	Scopus	Mitigar los efectos negativos de la calidad deficiente de los datos en el control de la producción mediante la adaptación de algoritmos de minería de datos (DM) para estimar valores probables para las inconsistencias de datos típicas en el control de producción.

(continúa)

(continuación)

N.º	Título del artículo	Año	Autores	Revista	Base de datos	Objetivo
A14	Development of an integrated demand-supply balancing system for supply chain exception handling.	2014	Wang, L.-C., & Cheng, C.-Y.	<i>International Journal of Information Systems and Change Management</i>	Scopus	Desarrollar un marco de sistema integrado de equilibrio de oferta y demanda (IDSB) y demostrar cómo maneja la excepción de la cadena de suministro una empresa textil que ha implementado dicho sistema. El sistema IDSB puede ayudar a los planificadores de producción global a generar de manera efectiva un programa maestro de producción y un plan de reasignación de múltiples sitios más factible que el enfoque tradicional en términos de material disponible, capacidad y fecha de vencimiento de pedidos.
A15	Advanced production planning and scheduling systems.	2019	Zijm, H., & Schutten, M.	<i>Lecture Notes in Logistics</i>	Scopus	Presentar modelos para la planificación integrada de la capacidad y la producción maestra, la planificación del trabajo y la carga del grupo de recursos y la programación y el control de la planta.
A16	High variety impacts on master production schedule: A case study from the automotive industry.	2015	Chatras, C., Giard, V., & Sali, M.	<i>IFAC-PapersOnLine</i>	Scopus	Describir el enfoque utilizado en el sector automotriz para la planificación de ventas y producción basado en una representación original de la diversidad de productos. Este enfoque se discute y se compara con otra alternativa que se ocupa de la incertidumbre de la demanda en el horizonte congelado.

Nota. Elaboración a partir de la revisión de literatura en Scopus y ProQuest.

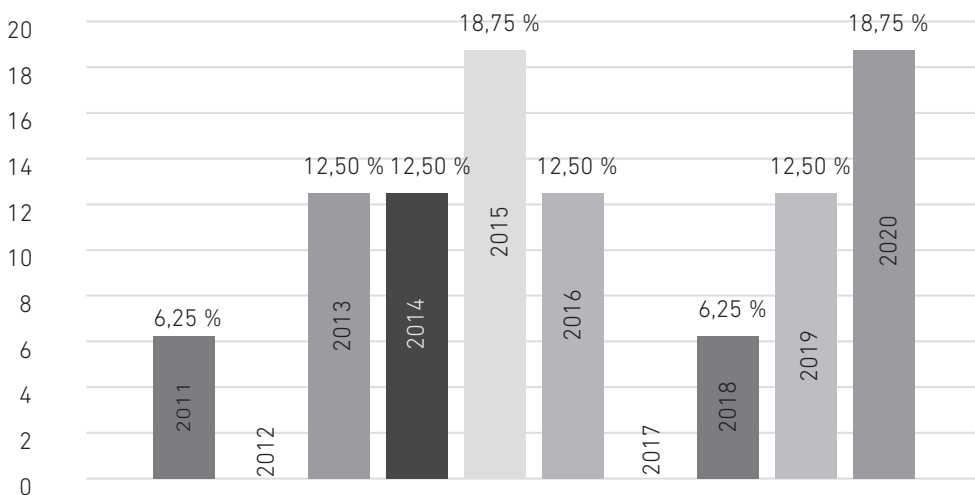
Características de los estudios

Artículos por años

Uno de los criterios utilizados para la búsqueda de artículos científicos fue el de fecha de publicación, considerando un rango de años del 2011 al 2020. La distribución por años muestra que el mayor número de artículos (18,75 %) se produjo entre el 2015 y el 2020 y que las cifras más bajas (6,25 %) aparecen en los años 2011, 2013, 2014, 2016 (véase Figura 2).

Figura 2

Distribución de artículos por años



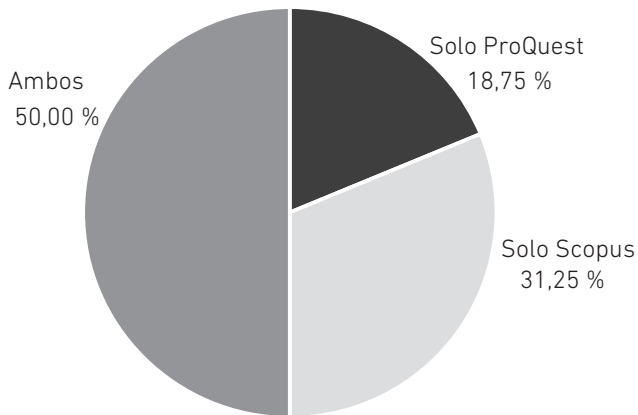
Nota. Elaboración a partir de la revisión de literatura en Scopus y ProQuest.

Artículos por base de datos

Se ha trabajado en dos bases de datos, ProQuest y Scopus, y se obtuvo un 50 % de artículos que se encuentran en ambas bases de datos, 31,25 % solo en Scopus y 18,75 % solo en ProQuest (véase Figura 3).

Figura 3

Distribución de artículos por base de datos



Nota. Elaboración a partir de la revisión de literatura en Scopus y ProQuest.

A continuación, se presenta el resumen de los resultados, ordenado por artículo e identificando el tipo de investigación, herramientas y variables analizadas (véase Tabla 2). Este es un aporte importante para la investigación ya que muestra la relevancia de cada artículo.

Tabla 2

Listado de artículos: uso de herramientas y variables

N.º	Título del artículo	Tipo de investigación	Herramientas	Variables analizadas
A1	Effectiveness of nervousness reduction policies when capacity is constrained	Mixto	- Modelo de simulación factorial (ANOVA) - Herramientas analizadas: sistemas ERP, BOM, MPS, MRP	Incertidumbre Rentabilidad Costos Stock de seguridad Pronóstico de demanda MRP
A2	A reference model in BPMN for conceptual modelling of master planning schedule	Cualitativo	- BPMN - Módulo plan maestro de producción (MPS: master production schedule) - Módulo de planeamiento y control de la producción (PPC: Production planning and control) - Software Bizagi - Módulo planificación de la capacidad de corte preliminar (RCCP: rough cut capacity planning)	Incertidumbre Plan agregado Tamaño de lote Desagregación de productos ERP Prototipo de software Stock de seguridad RCCP: Rough cut capacity planning

(continúa)

(continuación)

N.º	Título del artículo	Tipo de investigación	Herramientas	Variables analizadas
A3	Master production schedule using robust optimization approaches in an automobile second-tier supplier	Mixto	- Procedimiento heurístico para la planificación de la producción - Herramienta de modelación: Maximal Software's MPL (mathematical programming language)	Incertidumbre Tiempo de producción Desperdicio Tamaño de lote Capacidad de producción Demanda Existencias de materias primas Costos totales Costo de inventario Costo de inactividad Costo de tiempo extra
A4	Mass customization impact on bill of materials structure and master production schedule development	Cuantitativo	- BOM modular - Notaciones de probabilidad estándar y los operadores lógicos	MRP Lead time Demanda
A5	Simultaneous lotsizing and scheduling considering secondary resources: A general model, literature review and classification	Mixto	- Modelo de programación de la producción y de la lotización en simultáneo. - Herramientas analizadas: sistemas BOM, MPS, análisis de factores secundarios	Capacidad de máquinas Cantidad de herramientas compartidas, Cantidad de equipos secundarios, Cantidad de líneas compartidas
A6	Dynamic production planning model: A dynamic programming approach	Cuantitativo	- Modelo de programación dinámica y estocástica - Modelo de programación lineal - Método de aproximaciones sucesivas - Plan de ventas.	Demanda, Materia prima, Capacidad de máquinas

(continúa)

(continuación)

N.º	Título del artículo	Tipo de investigación	Herramientas	Variables analizadas
A7	A master production schedule warning approach for cement equipment manufacturing enterprises	Mixto	- Algoritmo de tiempos de entrega usando data histórica - MPS, MBOM. - Sistema de monitoreo basado en semáforo	Tiempo de producción teórico Tiempo real de producción Porcentaje de producción terminada real Porcentaje de producción terminado teórico
A8	Application of production planning and control method in manufacturing enterprise	Mixto	- Registro de tiempos - BOM - MPS	Tiempo de producción teórico Cantidad a producir Cantidad de materia prima requerida Tiempo real de producción
A9	Fuzzy multi-objective linear programming and simulation approach to the development of valid and realistic master production schedule	Mixto	- Programación lineal - MPS, MRP, CRP	Incertidumbre Inventarios Nivel de servicio Recursos productivos Tecnología de la información (<i>software</i>)
A10	Hybrid fuzzy-stochastic approach to multi-product, multi-period, and multi-resource master production scheduling problem: Case of a polyethylene pipe and fitting manufacturer	Mixto	- Programación lineal - MPS, MRP, CRP	Incertidumbre Tecnología de la información (<i>software</i>) Demanda Costos

(continúa)

(continuación)

N.º	Título del artículo	Tipo de investigación	Herramientas	Variables analizadas
A11	Improving performance with sophisticated master production scheduling	Mixto	- Sistema TI - MPS - Definición de los objetivos de negocio	Incertidumbre Demanda Recursos productivos Costos Tecnología de la información (<i>software</i>)
A12	Evolution of operations planning and control: From production to supply chains	Cualitativo	- MPS, MRP, control de piso, S&OP, planeamiento de la cadena de suministro.	Evolución de cadena de suministros
A13	Improving data consistency in production control	Mixto	- Uso de algoritmos para el manejo de datos para la mejora del plan de producción.	Control de producción Confiabilidad de datos Incertidumbre
A14	Development of an integrated demand-supply balancing system for supply chain exception handling	Mixto	- Sistema que ayuda a sincronizar la demanda y la oferta dentro de múltiples sitios para el manejo de excepciones dentro de la cadena de suministro	Producción de múltiples sitios Demanda Excepciones en la cadena de suministro Sincronización de data
A15	Advanced production planning and scheduling systems	Mixto	- Modelo de: - Planificación integrada de la capacidad - Producción maestra - Control de los recursos de la planta - Utilización de algoritmos basados en programación lineal.	Capacidad Mano de obra Materiales directos Algoritmos basados en programación lineal
A16	High variety impacts on master production schedule: A case study from the automotive industry	Mixto	- MPS, MRP, control de piso, S&OP, planeamiento de la cadena de suministro.	Componentes alternativos Incertidumbre Horizonte congelación

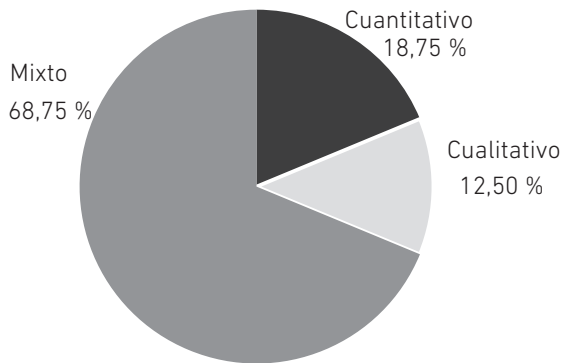
Nota. Elaboración a partir de la revisión de literatura en Scopus y ProQuest.

Artículos por tipo de estudio

Entre los artículos seleccionados se identificaron tres tipos de estudio: el 18,75 % son cuantitativos, el 12,5 % son cualitativos y el 68,75 % son de tipo mixto (véase Figura 4).

Figura 4

Distribución de artículos por tipo de estudio



Nota. Elaboración a partir de la revisión de literatura en Scopus y ProQuest.

Artículos por aplicación de las herramientas

Se ha identificado el uso de 28 herramientas en los 16 artículos, las cuales se han aplicado 54 veces en total, esto quiere decir que en un artículo se ha aplicado más de una herramienta (véase Tabla 2); las de mayor uso son el *master production schedule*, con una aplicación de un 20,37 %, el *bill of materials* y el *material requirement planning* cada uno con un 9,26 %, y en tercer lugar el *production, planning and control*, el *rough cut capacity planning* y el modelo de programación lineal con un 5,56 % cada uno. Se muestran las estadísticas de la aplicación de dichas herramientas en los artículos (véase Tabla 3).

Tabla 3*Herramientas en los artículos investigados*

Item	Herramienta	Porcentaje	Cantidad	Artículos
1	Master production schedule	20,37 %	11	A1, A2, A5, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A15, A16
2	Bill of materials	9,26 %	5	A1, A4, A5, A7, A8
3	Material requirements planning	9,26 %	5	A1, A9, A10, A12, A15
4	Production, planning and control	5,56 %	3	A2, A15, A16
5	Rough cut capacity planning	5,56 %	3	A2, A9, A10
6	Modelo de programación lineal	5,56 %	3	A6, A9, A10
7	Business process model and notation	3,70 %	2	A2, A11
8	Modelo de programación de la producción y de la lotización en simultáneo	3,70 %	2	A5, A15
9	Modelo de simulación factorial (ANOVA)	1,85 %	1	A1
10	Enterprise resource model	1,85 %	1	A1
11	Software bizagi process modeler	1,85 %	1	A2
12	Procedimiento heurístico para la planificación de la producción	1,85 %	1	A3
13	Maximal software MPL (mathematical programming language)	1,85 %	1	A3
14	Standard probability notations and logical operators	1,85 %	1	A4
15	Análisis de factores secundarios	1,85 %	1	A5
16	Modelo de Programación dinámica y estocástica	1,85 %	1	A6
17	Método de aproximaciones sucesivas	1,85 %	1	A6
18	Plan de ventas	1,85 %	1	A6
19	Algoritmo de tiempos de entrega usando data histórica	1,85 %	1	A7
20	Sistema de monitoreo basado en semáforo	1,85 %	1	A7
21	Registro de tiempos	1,85 %	1	A8
22	IT system	1,85 %	1	A11
23	Shop floor control	1,85 %	1	A12
24	Sales & operation planning	1,85 %	1	A12
25	Supply chain planning	1,85 %	1	A12

(continúa)

(continuación)

Item	Herramienta	Porcentaje	Cantidad	Artículos
26	Algoritmos para el manejo de datos para la mejora del plan de producción	1,85 %	1	A13
27	Sincroniza la demanda y la oferta dentro de múltiples sitios para el manejo de excepciones dentro de la cadena de suministro	1,85 %	1	A14
28	Periodo de congelamiento	1,85 %	1	A16
TOTAL			54	

Nota. Elaboración a partir de la revisión de literatura en Scopus y ProQuest.

Tabla 4

Variables en los artículos investigados

Item	Variables	Porcentaje	Cantidad	Artículos
1	Incertidumbre	10,00 %	8	A1, A2, A3, A9, A10, A11, A13, A16
2	Demanda en todo el horizonte de planificación	7,50 %	6	A3, A4, A6, A10, A11, A14
3	Costos	5,00 %	4	A1, A3, A10, A11
4	Material requirements planning	3,75 %	3	A1, A4, A8
5	Tiempo de producción	3,75 %	3	A3, A7, A8
6	Tecnología de la información	3,75 %	3	A9, A10, A11
7	Stock de seguridad	2,50 %	2	A1, A2
8	Estructura de producto	2,50 %	2	A1, A2
9	Bill of materials (BOM)	2,50 %	2	A1, A4
10	Tamaño de lote	2,50 %	2	A2, A3
11	Capacidad de producción	2,50 %	2	A3, A15
12	Nivel de inventario	2,50 %	2	A3, A9
13	Escasez de materias primas	2,50 %	2	A5, A6
14	Tiempo planificado de producción	2,50 %	2	A7, A8
15	Recursos productivos	2,50 %	2	A9, A11
16	Rentabilidad	1,25 %	1	A1
17	Pronóstico de demanda	1,25 %	1	A1
18	Plan agregado	1,25 %	1	A2
19	Cronograma de entrada	1,25 %	1	A2
20	Inventario inicial	1,25 %	1	A2

(continúa)

(continuación)

Item	Variables	Porcentaje	Cantidad	Artículos
21	Adopción de ERP	1,25 %	1	A2
22	Prototipo de software	1,25 %	1	A2
23	Rough cut capacity planning	1,25 %	1	A2
24	Porcentaje de desperdicio de producción	1,25 %	1	A3
25	Existencia de materias primas	1,25 %	1	A3
26	Costo de inventarios	1,25 %	1	A3
27	Costos de inactividad	1,25 %	1	A3
28	Costos de tiempo extra	1,25 %	1	A3
29	Lead time	1,25 %	1	A4
30	Cantidad de máquinas	1,25 %	1	A5
31	Cantidad de herramientas compartidas	1,25 %	1	A5
32	Cantidad de equipos secundarios	1,25 %	1	A5
33	Cantidad de líneas compartidas	1,25 %	1	A5
34	Capacidad de máquinas	1,25 %	1	A6
35	Porcentaje de producción terminado real	1,25 %	1	A7
36	Porcentaje de producción terminado teórico	1,25 %	1	A7
37	Cantidad a producir	1,25 %	1	A8
38	Nivel de servicio	1,25 %	1	A9
39	Evolución de la cadena de suministros	1,25 %	1	A12
40	Control de producción	1,25 %	1	A13
41	Confiabilidad de datos	1,25 %	1	A13
42	Errores de data	1,25 %	1	A13
43	Producción demúltiples sitios	1,25 %	1	A14
44	Excepciones en la cadena de suministro	1,25 %	1	A14
45	Sincronización de data	1,25 %	1	A14
46	Mano de obra	1,25 %	1	A15
47	Materiales directos	1,25 %	1	A15
48	Algoritmos basados en programación lineal	1,25 %	1	A15
49	Componentes alternativos	1,25 %	1	A16
50	Horizonte congelación	1,25 %	1	A16
TOTAL			80	

Aplicación de las variables en los planes maestros dentro de los artículos

Se identificaron 50 variables utilizadas en los 16 artículos, las cuales se han aplicado 80 veces en total, esto quiere decir que en un artículo se ha aplicado más de una variable (véase Tabla 2); la variable que más aparece es la incertidumbre con 10 %, seguida por la demanda en todo el horizonte de planificación con un 7,5 %, los costos con un 5 % y MRP, tiempo de producción y tecnología de la información con un 3,75 % cada uno (véase Tabla 4).

Los planes de producción en un contexto de incertidumbre

De lo investigado se obtiene la siguiente clasificación de los artículos que consideran a la incertidumbre en la elaboración de sus planes maestros de producción (véase Tabla 5).

Tabla 5

Lista de artículos que consideran la incertidumbre y que no la consideran

Artículos que consideran la incertidumbre	A1	A2	A3	A9	A10	A11	A13	A16
Artículos que no consideran la incertidumbre	A4	A5	A6	A7	A8	A12	A14	A15

En la Tabla 6 se presentan las abreviaturas de los factores y los significados de cada una para facilitar su identificación. Posteriormente, se presenta la ponderación de los factores realizada con el método de enfrentamiento (véase Tabla 7).

Tabla 6

Abreviatura y descripción de factores

Factor	Descripción
VA	Variables analizadas
TI	Tipo de investigación
HU	Herramientas utilizadas
AP	Año de publicación
BD	Base de datos

Tabla 7*Enfrentamiento de factores*

Factor	VA	TI	HU	AP	BD	Conteo	Pond. (%)
VA	X	1	1	1	1	4	33,33 %
TI	0	X	1	1	1	3	25,00 %
HU	0	1	X	1	1	3	25,00 %
AP	0	0	0	X	1	1	8,33 %
BD	0	0	0	1	X	1	8,33 %
Total						12	100,00 %

Se procedió a realizar la calificación de cada factor en una escala de 1 a 5 (véase Tabla 8). Se consideran más relevantes los artículos que incluyen en su análisis de seis variables a más, que utilizan en la investigación métodos mixtos (cualitativos y cualitativos), que utilizan cuatro herramientas o más, y los artículos más recientes (del año 2019 en adelante), por su aplicación práctica a la realidad actual y, finalmente, los artículos que se encuentran en las dos bases de datos utilizadas en esta investigación.

Se multiplicó la ponderación calculada anteriormente con la calificación para obtener una puntuación total, la cual muestra el grado de relevancia de cada artículo para la presente investigación (véase Tabla 9). Los artículos A1, A3, A10 y A15 resultaron ser los de mayor relevancia.

Tabla 8*Calificación de factores*

Factor	Criterios de calificación		
	1	3	5
VA	≤ 3 variables	≥ 3 ∧ ≤ 5 variables	≥ 6 variables
TI	cualitativa	cuantitativa	mixta
HU	=1 herramienta	≥ 2 ∧ ≤ 3 herramientas	≥ 4 herramientas
AP	≤ 2015	≥ 2016 ∧ ≤ 2018	≥ 2019
BD	ProQuest	Scopus	ambos

Tabla 9

Relevancia: puntuación total por artículo

Artículo	Factor	VA	TI	HU	AP	BD	Total
	Pond. (%)	33,33 %	25,00 %	25,00 %	8,33 %	8,33 %	100 %
A1	Calif.	5	5	5	5	5	5,00
	Punt.	1,67	1,25	1,25	0,42	0,42	
A2	Calif.	5	1	5	5	1	3,67
	Punt.	1,67	0,25	1,25	0,42	0,08	
A3	Calif.	5	5	3	5	5	4,50
	Punt.	1,67	1,25	0,75	0,42	0,42	
A4	Calif.	3	3	3	3	5	3,17
	Punt.	1,00	0,75	0,75	0,25	0,42	
A5	Calif.	3	5	5	5	1	4,00
	Punt.	1,00	1,25	1,25	0,42	0,08	
A6	Calif.	1	3	5	1	5	2,83
	Punt.	0,33	0,75	1,25	0,08	0,42	
A7	Calif.	3	5	5	1	5	4,00
	Punt.	1,00	1,25	1,25	0,08	0,42	
A8	Calif.	3	5	3	1	1	3,17
	Punt.	1,00	1,25	0,75	0,08	0,08	
A9	Calif.	3	5	5	1	3	3,83
	Punt.	1,00	1,25	1,25	0,08	0,25	
A10	Calif.	3	5	5	3	5	4,17
	Punt.	1,00	1,25	1,25	0,25	0,42	
A11	Calif.	3	5	3	1	5	3,50
	Punt.	1,00	1,25	0,75	0,08	0,42	
A12	Calif.	1	1	5	1	5	2,33
	Punt.	0,33	0,25	1,25	0,08	0,42	
A13	Calif.	3	5	1	3	3	3,00
	Punt.	1,00	1,25	0,25	0,25	0,25	
A14	Calif.	3	5	1	1	3	2,83
	Punt.	1,00	1,25	0,25	0,08	0,25	
A15	Calif.	3	5	5	5	3	4,17
	Punt.	1,00	1,25	1,25	0,42	0,25	
A16	Calif.	1	5	3	1	3	2,67
	Punt.	0,33	1,25	0,75	0,08	0,25	

4. DISCUSIÓN

En los artículos revisados se analizan principalmente las siguientes herramientas: MPS, BOM y el MRP, que contribuyen a una mejor programación de la producción.

El plan maestro de producción contribuye a reducir la incertidumbre, reducir los costos de inventario y mejorar los tiempos de entrega (Atadeniz y Sridharan, 2020; Chatras et al., 2016; Entringer y Ferreira, 2020; Martín et al., 2020).

Otra de las herramientas mayormente utilizadas es la lista de materiales, esta es necesaria para alimentar el MPS y lograr un impacto en la mejora de la productividad y en la prevención de cualquier atraso que pueda ocurrir (Atadeniz y Sridharan, 2020; Bai y Zhu, 2015; Chatras et al., 2016; Sun et al., 2014; Wörbelauer et al., 2019).

El uso de la herramienta MRP en el sector manufactura contribuye a reducir la incertidumbre del plan maestro de producción, reduciendo las horas innecesarias, evitando el tiempo de inactividad y los tiempos de espera, de modo que la eficiencia mejora sustancialmente (Atadeniz y Sridharan, 2020; Bai y Zhu, 2015; Chatras et al., 2016).

En cuanto a los tipos de estudio, podemos decir que los artículos seleccionados, en su mayoría, han aplicado herramientas mixtas, tanto cuantitativas como cualitativas. Por ejemplo, aplican procedimientos heurísticos para la planificación de la producción, modelos de programación de la producción y de la lotización en simultáneo, algoritmos de tiempos de entrega que usan data histórica, registro de tiempos, programación lineal, definición de los objetivos de negocio, algoritmos para el manejo de datos para la mejora del plan de producción, sistemas que ayudan a sincronizar la demanda y la oferta y control de piso (Atadeniz y Sridharan, 2020; Bai y Zhu, 2015; Chatras et al. 2015; Jonsson y Kjellsdotter, 2015; Martín et al., 2020; Razavi et al., 2019; Reuter y Brambring, 2016; Sun et al., 2014; Supriyanto y Noche, 2011; Wang y Cheng, 2014; Wörbelauer et al., 2019 y Zijm y Schutten, 2019).

Por otro lado, es importante mencionar que las variables que más se han considerado son la incertidumbre, la demanda, los costos y los tiempos de producción, que en la búsqueda por diseñar el mejor modelo para la programación de la producción y su consecuente eficiencia son consideradas de manera contundente (Atadeniz y Sridharan, 2020; Bai y Zhu, 2015; Chatras et al. 2015; Chatras et al., 2016; Entringer y Ferreira, 2020; Jonsson y Kjellsdotter, 2015; Khaledi y Reisi-Nafchi, 2013; Martín et al., 2020; Razavi et al., 2019; Reuter y Brambring, 2016; Supriyanto y Noche, 2011 y Wang y Cheng, 2014).

Finalmente, se realizó una evaluación de los artículos seleccionados para determinar su grado de relevancia para la presente investigación. Se valoró la cantidad de variables analizadas, el tipo de investigación, la cantidad de herramientas utilizadas, la antigüedad de la publicación y su presencia en las bases de datos publicadas.

5. CONCLUSIONES

La investigación muestra que los artículos están distribuidos cronológicamente entre el año 2010 y el 2020, con la mayoría concentrados entre los años 2015 al 2020, lo que representa el 68,75 %. En cuanto a las bases de datos consideradas, se recalca que estas fueron ProQuest y Scopus; se encontró que en Scopus se obtuvo la mayor cantidad de artículos, un 81,25 %. Asimismo, en relación con el tipo de estudio, podemos decir que el mixto (cuantitativo y cualitativo) es el de mayor cantidad, un 68,75 % respecto a los estudios solo cuantitativos o solo cualitativos.

Las herramientas más utilizadas en los artículos son el master production schedule (MPS) con el 20,7 %, el material requirement planning (MRP) y el BOM con el 9,26 %, respectivamente, del total de los artículos. Por otro lado, las variables que más afectan la elaboración de los planes maestros son la incertidumbre con 10 %, seguida por la demanda con un 7,5 % y los costos con un 5 %. Además, el 50 % de los artículos considera la incertidumbre como variable importante para el desarrollo de los planes de producción.

De cara al futuro, esta investigación se constituye en un aporte importante para que las herramientas y variables mostradas sean consideradas en la elaboración de los planes maestros de producción que podrían incrementar la productividad en las empresas del sector manufactura.

REFERENCIAS

- Atadeniz, S. N., & Sridharan, S. V. (2020). Effectiveness of nervousness reduction policies when capacity is constrained. *International Journal of Production Research*, 58(13), 4121-4137. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2019.1643513>
- Bai, X., & Zhu, B. (2015). Application of production planning and control method in manufacturing enterprise. *Management & Engineering*, 18, 3-7.
- Banco Mundial. (2020, 14 de julio). *El aumento de la productividad, el principal motor de reducción de la pobreza, corre peligro debido a las perturbaciones causadas por la COVID-19*. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/07/14/productivity-growth-threatened-by-covid-19-disruptions>
- Chatras, C., Giard, V., & Sali, M. (2015). High variety impacts on master production schedule: a case study from the automotive industry. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1073-1078. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.226>
- Chatras, C., Giard, V., & Sali, M. (2016). Mass customisation impact on bill of materials structure and master production schedule development. *International Journal of Production Research*, 54(18), 5634-5650. <http://doi.org/10.1080/00207543.2016.1194539>

- Dieppe, A. (s.f.). *Global productivity: Trends, drivers, and policies*. The World Bank Group. Recuperado el 10 de mayo del 2022. <https://www.worldbank.org/en/research/publication/global-productivity>
- Entringer, T. C., & Ferreira, A. D. S. (2020, marzo-abril). A reference model in BPMN for conceptual modelling of master planning schedule. *Independent Journal of Management & Production*, 11(2), 394-418.
- Fondo Monetario Internacional. (2021, abril). *La economía mundial se está afianzando, pero con recuperaciones divergentes en medio de aguda incertidumbre*. <https://www.imf.org/es/Publications/WEO/Issues/2021/03/23/world-economic-outlook-april-2021>
- Jonsson, P., & Kjellsdotter L. (2015). Improving performance with sophisticated master production scheduling. *International Journal of Production Economics*, 168, 118-130. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.06.012>
- Khaledi, H., & Reisi-Nafchi, M. (2013). Dynamic production planning model: A dynamic programming approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67, 1675-1681. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-012-4600-7>
- Martín, A., G., Díaz-Madroñero, M., & Mula, J. (2020). Master production schedule using robust optimization approaches in an automobile second-tier supplier: *Central European Journal of Operations Research*, 28, 143-166. <http://dx.doi.org/10.1007/s10100-019-00607-2>
- Ministerio de la producción. (s.f.). *Desempeño del sector industrial manufacturera - marzo 2022*. Recuperado el 10 de mayo del 2021, de <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/estadistica-oe/estadisticas-manufactura>
- Olhager, J. (2013) Evolution of operations planning and control: From production to supply chains, *International Journal of Production Research*, 51(23-24), 6836-6843. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2012.761363>
- Razavi Hajiagha, S. H., Sadat Hashemi, S., & Sadeghi, M. (2019). Hybrid fuzzy-stochastic approach to multi-product, multi-period, and multi-resource master production scheduling problem: Case of a polyethylene pipe and fitting manufacturer. *Scientia Iranica*, 26(3), 1809-1823. http://scientiairanica.sharif.edu/article_20329_a8ada7d622b089fe557d37bc2b94d04b.pdf
- Reuter, C., & Brambring, F. (2016). Improving data consistency in production control. *Procedia CIRP*, 41, 51-56. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.116>
- Sun, L. B., Guo, S. S., Tao, S. Q., Li, Y. B., & Du, B. G. (2014). A master production schedule warning approach for cement equipment manufacturing enterprises. *Scientia Iranica*, 21(3), 1120-1127. http://scientiairanica.sharif.edu/article_3547.html

- Supriyanto, I., & Noche, B. (2011). Fuzzy multi-objective linear programming and simulation approach to the development of valid and realistic master production schedule. *Logistics Journal: Proceedings*, 7. http://doi.org/10.2195/LJ_proc_supriyanto_de_201108_01
- Wang, L.-C., & Cheng, C.-Y. (2014). Development of an integrated demand-supply balancing system for supply chain exception handling. *International Journal of Information Systems and Change Management*, 7(1), 70-91. <http://doi.org/10.1504/IJISCM.2014.065059>
- Wörbelauer, M., Meyr, H., & Almada-Lobo, B. (2019). Simultaneous lotsizing and scheduling considering secondary resources: A general model, literature review and classification. *OR Spectrum*, 41(1), 1-43. <http://doi.org/10.1007/s00291-018-0536-0>
- Zijm, H., & Schutten, M. (2019). Advanced production planning and scheduling systems. En Zijm, H., Klumpp, M., Regattieri, A., Heragu, S. (Eds.) *Operations, Logistics and Supply Chain Management. Lecture Notes in Logistics* (pp. 417-439). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92447-2_19

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIO DE UNA TIENDA DE JUGUETES

ABDEL BERMUDEZ DEL SOL*

Universidad Regional Autónoma de los Andes,
Facultad de Ciencias Médicas, Ambato, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-0777-7635>

NEYFE SABLÓN-COSSÍO

Universidad Técnica de Manabí, Instituto de Postgrado,
Grupo de Producción y Servicios, Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-6691-0037>

EDISON ISMAEL ESCOBAR BARROSO

Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ingeniería en Contabilidad
y Auditoría, Puyo, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0003-4061-7120>

RICARDO LARRY CASTRO COELLO

Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas,
Físicas y Químicas, Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0003-4447-5529>

ROGELIO SUÁREZ-MELLA

Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Administrativas
y Económicas, Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-5492-9339>

Recibido: 1 de julio del 2022 / 15 de julio del 2022

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n43.6109>

RESUMEN. El objetivo de este artículo fue diseñar un sistema de control de inventario de una tienda de juguetes de la ciudad de Puyo, Ecuador. Entre noviembre de 2018 y febrero de 2019, se realizó una etapa de caracterización de la situación real de la gestión de inventario en la empresa y otra etapa de diseño del sistema de inventario. Para el análisis y diseño del sistema de gestión de inventario de la juguetería se combinaron dos procedimientos, uno no relacionado con la caracterización del sistema de inventario existente y otro relacionado con la planificación del inventario. Se encontró que en la empresa

* Correos electrónicos en orden de aparición: abersol@yahoo.es; nsabloncoessio@gmail.com; escobarismael41@gmail.com; ricardo.castro@utm.edu.ec; rogelio.suarez@utm.edu.ec

la mercadería no se encuentra codificada, que no cuenta con un sistema de almacenamiento que facilite su organización y no se pudo identificar el stock del que se disponía. Además, se determinaron los parámetros de inventario como base para el diseño del sistema automatizado. A partir de una adecuada gestión de inventario, se garantizará un abastecimiento oportuno de los productos de venta y la minimización del costo total de las actividades logísticas en el control de inventario, lo que asegurará mayor rentabilidad y mejor atención al cliente.

PALABRAS CLAVE: gestión de inventario/ juguetes / costo / logística / almacén

DESIGN OF AN INVENTORY CONTROL SYSTEM FOR A TOY STORE

ABSTRACT. The objective of this article was to design an inventory control system for a toy store in Puyo, Ecuador. Between November 2018 and February 2019, we characterized the actual situation of inventory management in the company in the first stage of the research; in the second stage, we designed the inventory system. For the analysis and design of the inventory management system of the toy store we combined two procedures, one unrelated to the characterization of the existing inventory system and the other related to inventory planning. We identified that the merchandise in the store was not codified and that the store lacked a storage system for its merchandise. We discovered that the stock available could not be identified. In addition, we determined the inventory parameters as a basis for the design of the automated system. An adequate inventory management will guarantee a timely supply of sales products and the minimization of the total cost of logistics activities in inventory control, ensuring better profitability and customer service.

KEYWORDS: inventory management / toys / cost / logistics / warehouse

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas de las empresas ecuatorianas es la inadecuada gestión de inventario. En la actualidad, la masificación del consumo ha generado cambios en los hábitos y en el comportamiento de los consumidores, de tal modo que la demanda de productos se hace cada día más diversificada y, sin embargo, se siguen considerando inventarios de productos que en ocasiones superan a la demanda (Alhidari et al., 2020).

En Ecuador, muchas empresas del sector comercial también presentan problemas de esta índole, debido a la deficiencia en la gestión de inventarios, lo cual implica un desequilibrio en la economía de estas entidades que en su mayoría no puedan mantenerse en el mercado, como es el caso del sector de juguetes (Escobar Barroso, 2017).

Actualmente, en Ecuador se importan considerables volúmenes de juguetes, ya que la producción nacional no supe la demanda interna, lo que propicia al crecimiento de inventario para poder cumplir con el ciclo de ventas. Así, por ejemplo, se estima que en el 2016 se importaron un total de 14 500 toneladas de juguetes, mientras que en el 2017 esta cifra fue de 20 400, un 40 % más de importaciones que el anterior año (ICEX, 2018).

El control de inventario es uno de los temas más complejos en la logística y gestión de la cadena de abastecimiento. En muchas ocasiones, este genera la existencia de excesos y de faltantes de productos. En consecuencia, la gestión del inventario se convierte en un arma competitiva para contrarrestar los riesgos de las fluctuaciones aleatorias de la demanda y de los tiempos de entrega de pedidos (Hänninen, 2020).

Los cambios disruptivos en el mercado nacional e internacional han alterado la tradicional política empresarial y ahora se ha comprendido que la aplicación de buenas prácticas es sinónimo de integración, la cual empieza por la coordinación operativa de áreas tales como compras, transporte e inventario, entre otras. La gestión de inventario es relevante en este proceso de unificación, ya que refleja tanto la inversión realizada por los directivos de las empresas, como la capacidad de generar buenos niveles de servicio al cliente. Sin embargo, la administración de inventario puede llegar a ser una actividad muy compleja por la incertidumbre que la rodea y la naturaleza misma de los productos que se gestionan (Modak et al., 2020).

La gestión de inventario es un área problemática en la gestión de la cadena de suministro de las empresas en el escenario empresarial actual. Las empresas necesitan tener inventarios en los almacenes para satisfacer la demanda de los clientes, mientras que estos inventarios tienen costos de mantenimiento y, por ende, un costo que debemos prever y controlar. Por lo tanto, la tarea de la gestión de inventario es encontrar la cantidad de productos que satisfará la demanda, evitando el exceso de existencias.

Los inventarios de recursos y productos representan una inversión importante y una fuente potencial de pérdidas por deterioro o depreciación por obsolescencia tecnológica,

por lo que necesitan ser cuidadosamente controlados. El inventario se define como un stock de bienes que mantiene una empresa en previsión de alguna demanda futura (Sohail y Sheikh, 2018).

Un elemento para definir es el tiempo de reposicionamiento, que se rige en gran medida por el cálculo adecuado entre los costos de pedido y mantenimiento de inventario. Otro elemento importante es el punto de pedido, que se relaciona con una perspectiva de costo-beneficio orientada a las ventas (Bofill et al., 2017). La política óptima produce ganancias significativamente más altas que las políticas de inventario basadas en costos, lo que subraya la importancia de la gestión de inventario basada en las ganancias. Para trabajar hacia indicadores de pedidos adecuados, debe haber una acertada gestión del inventario, reestructurando las operaciones de la cadena de suministro y las entidades deben ir migrando al pedido perfecto.

Al actualizar los indicadores, esto incluiría si el ciclo de reaprovisionamiento se ha hecho adecuadamente frente a los pedidos entregados a tiempo, sincronización de los registros, daños y productos inutilizables, días de suministro, el ciclo de tiempo de pedido y el nivel de servicio en el estante (Sablón Cossío et al., 2021). Los problemas de inventario, sean elevados o demasiado pequeños, pueden causar fallas comerciales.

Si una organización experimenta el desabastecimiento de un artículo de inventario crítico, podrían producirse paradas de producción. La técnica de gestión de inventario permite determinar el nivel óptimo de inventario y encontrar respuestas al problema del stock de seguridad y el tiempo de entrega. La gestión de inventario se ha desarrollado para cumplir con los crecientes desafíos en la mayoría de las entidades corporativas y esto es en respuesta al hecho de que el inventario es un activo de características distintivas (Nya et al., 2022).

Debido a la creciente complejidad de la actividad productiva y los procesos empresariales resultantes, se requieren nuevos conceptos para la optimización de procesos. Entre ellos, indudablemente, el control de inventario es una herramienta necesaria para el manejo de las entradas y salidas de los productos y la identificación de oportunidades de mejor rendimiento y mayor seguridad en el actual escenario nacional e internacional al que se enfrenta la economía ecuatoriana. En el mundo competitivo en que se desenvuelven los negocios es necesario desarrollar mecanismos de control de inventario que permitan a las empresas optimizar costos para poder obtener una mayor rentabilidad en los procesos productivos.

Wan et al. (2019) reconocen que la variedad de productos puede afectar negativamente la rotación de inventario y, por lo tanto, debe considerarse el impacto de la variedad de productos tanto en las ventas como en el inventario y, por ende, recomiendan la generación de sistemas de evaluación y control de inventario adecuados a la demanda del mercado.

Dado que una mayor variedad de productos conduce a mayores ventas y a inventarios más complejos, el cambio en la relación de ventas a inventario (rotación de inventario) en respuesta a una mayor variedad de productos no está claro en teoría y, por lo tanto, es más una pregunta empírica. En este estudio, se explora el impacto de la variedad de productos en la rotación de inventario de juguetes, utilizando técnicas de investigación que posibiliten introducir un sistema de control de inventario adecuado a las necesidades del mercado.

Los inventarios tienen una importancia financiera y operativa que exige que se lleve a cabo su gestión para lograr el necesario *trade-off* entre el nivel de servicio que se presta y los costos en que se incurre para prestar ese servicio. La gestión de inventarios se sintetiza como la actividad que garantiza disponibilidad estable de los productos requeridos por los clientes, coordinando las funciones de compras, producción y distribución en las relaciones inter e intraempresariales; todo esto para lograr satisfacer al mercado objetivo a un costo racional teniendo en cuenta la variabilidad e incertidumbre de los procesos (Lopes Martínez, 2013). Esta gestión provee a los responsables en la organización los criterios para tomar las decisiones estratégicas, tácticas y operacionales, así como las informaciones para sustentar las decisiones de inventario. En general, la tendencia es que esta gestión utilice intensivamente los sistemas de información que incluyen los sistemas de planificación de los recursos de la empresa (ERP) (De Vries, 2020; Ruivo et. al, 2020).

El sistema de planificación del inventario se relaciona con el balance de la política de inventario y los niveles de servicio a los clientes, a partir del cálculo de las cantidades a pedir y los inventarios de seguridad, utilizando diferentes métodos que deben garantizar el retorno de la inversión (ROI, por sus siglas en inglés) (Alemanni et al., 2008; Cox y Backstone, 2002; Gebennini et al., 2009; Pan et al., 2013). Hay que tener en cuenta que un modelo matemático es tan bueno como los datos que se le suministren y que en muchos casos existen problemas en aspectos como los pronósticos de demanda, el *lead time*, el desempeño de la cadena, etcétera.

La integración entre los elementos que inciden en la gestión del inventario frena o potencia la planificación y el control del sistema de operaciones en el marco de la cadena de suministro (Albrecht, 2017; Noblesse et al., 2014). La baja interconexión de todos los elementos, influye en la eficiencia operacional, el servicio al cliente, los niveles de inventario y las compras a partir de rebajas de precios por cantidad.

Una interrogante clave es por qué se tiene un producto y en una cantidad determinada. La respuesta debe ser un consenso entre varias áreas y personas responsables de los procesos en las entidades, como los vendedores, empleados de producción, gestores de la información, logísticos y gestores de almacén, entre otros. Por ello, un gestor de inventario aislado no puede tener resultados satisfactorios (De Vries, 2020; Koschat, 2008). Es necesaria la implicación de la alta dirección, los mandos medios, los especialistas y trabajadores que toman decisiones o utilizan los productos. El rol

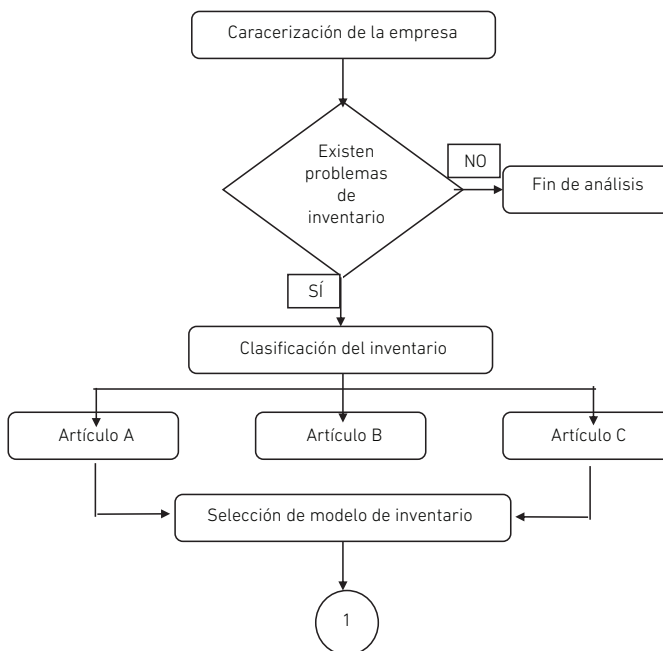
de los inventarios en las empresas ha cambiado drásticamente debido al cambio en los sistemas económicos y de negocios, se necesita una orientación más estratégica de los inventarios (Chikán, 2009). Se debe estudiar la influencia de los diferentes actores sobre el diseño y planificación del sistema de inventarios que ejercen el poder legítimo (conocimiento o posición financiera), además es necesario reducir la frecuente incongruencia entre la responsabilidad y la autoridad de las personas sobre el sistema de inventario, pues la misma afecta la toma de decisiones (De Vries, 2020).

2. METODOLOGÍA

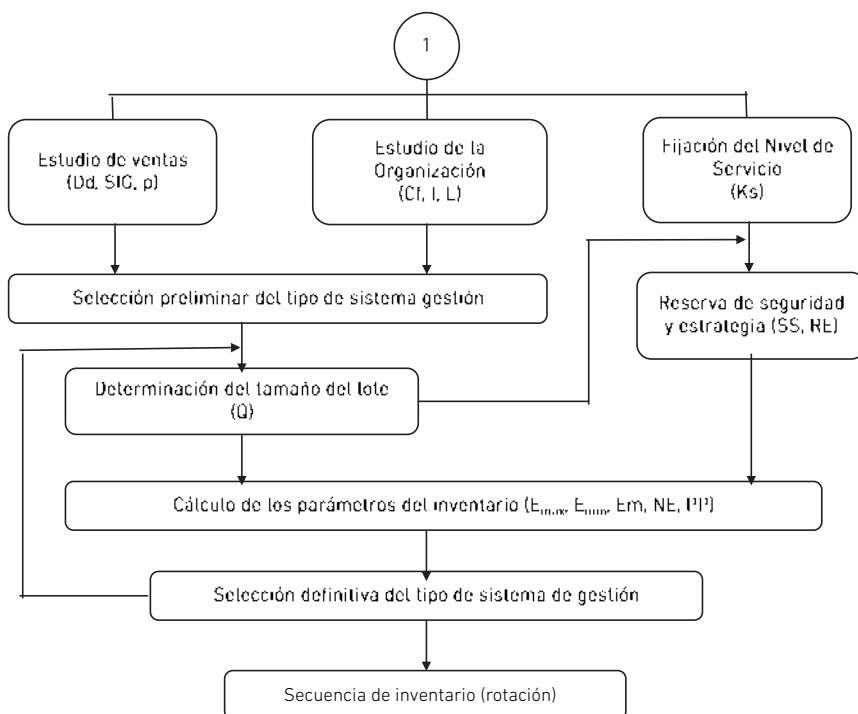
El tipo de estudio fue observacional-descriptivo de corte transversal en su primera etapa (exploratoria y de diagnóstico) y en una segunda etapa se optó por una investigación proyectiva. A lo largo de la investigación se combinaron los enfoques cuantitativos. Para el análisis y diseño del sistema de gestión de inventario de la juguetería se combinaron dos procedimientos: en su primera parte se utilizó una adaptación (Figura 1) del procedimiento descrito por Cespón (2008) y, en una segunda parte, teniendo en cuenta que no existe control de inventario en dicha juguetería, se hizo necesario realizar una planificación del inventario, para lo cual se utilizó el procedimiento descrito por Acevedo Suárez et al. (2017), el cual se muestra en la Figura 2.

Figura 1

Procedimiento inicial para el análisis y diseño del sistema de gestión de inventario



Nota. Tomado de Cespón (2008).

Figura 2*Procedimiento para la planificación del inventario*

Nota. Tomado de Acevedo Suárez et al. (2017).

El procedimiento descrito por Cespón (2008) abarca aspectos clave como la caracterización de la empresa, el análisis de los artículos en inventario y la clasificación de la mercadería en ABC, que sirve de base a una selección preliminar de modelo de inventario a utilizar.

Se realizó una exhaustiva caracterización de la empresa atendiendo a las cuatro funciones del proceso administrativo (planificación, organización, dirección y control). Es importante para el análisis y la gestión de inventario determinar qué artículos representan la mayor parte del valor de este, expresando su uso en dinero y si justifican su consecuente inmovilización monetaria. Fue necesario un análisis minucioso de la mercadería que permitiera determinar la importancia real para el inventario, por lo cual se utilizó el método ABC (Araújo et al., 2020) que resulta de gran utilidad pues permite visualizar la relación uso/valor y determinar, en forma simple, qué artículos son de mayor valor. Ello permite optimizar la gestión de los recursos de inventario y permite tomar decisiones más eficientes.

Tabla 1

Abreviatura de factores

Q: tamaño del lote	E_{\min} : existencia mínima
Cd: consumo diario	Et: existencia en el intervalo t
D: demanda anual	Ks: coeficiente de seguridad
Cf: costo de efectuar un pedido	L: ciclo de gestión de un pedido
p: valor unitario del artículo	I: Tasa anual de costo de almacenaje
NE: intervalo entre aprovechamientos (días)	R: rotación del inventario
SS: inventario de seguridad	NF: norma financiera
RE: reserva estratégica	P: precio del producto
SIG: desviación típica de la demanda diaria	PC: período de consumo q cubre la RE
E_{\max} : existencia máxima	V: vida útil del producto
Em: existencia media	TR: tiempo máximo para rotar la RE
Ce: consumo promedio diario durante el período de contingencia q cubre la RE	

El procedimiento descrito por (Acevedo Suárez et al., 2017) se centra inicialmente en un estudio de la organización (Cf, I, L) y un estudio de la demanda (Cd, SIG, p) para hacer una selección preliminar del tipo de sistema de gestión de inventario. Luego se hace una determinación del tamaño del lote (Q) y con la fijación del nivel de servicio se determinan la reserva de seguridad y la estratégica (SS, RE). A continuación, se calculan los parámetros del inventario (E_{\max} , Em, E_{\min} y NE) y se hace la selección definitiva del tipo de sistema de gestión.

La recopilación de datos es la base principal para efectuar el cálculo de los parámetros y, a través de su procesamiento y análisis, tomar decisiones importantes para resolver los problemas de la entidad y obtener beneficios. Seguidamente, se realiza el cálculo correspondiente al modelo o sistema de control de inventario seleccionado, según el tipo de artículos que comercializa la empresa. La literatura especializada recomienda un modelo de revisión permanente para los artículos del grupo A y un modelo de revisión periódica para los artículos de los grupos B y C.

En el caso de la identificación de la eficiencia del inventario se utiliza la rotación de inventarios, que es el parámetro que permite identificar cuántas veces el inventario se convierte en dinero o en cuentas por cobrar (cuando se ha vendido el producto).

3. RESULTADOS

Para la adquisición de los productos para el inventario se realizan las compras, para ello se necesita saber si se cuenta con dinero suficiente para efectuarlas. La empresa, al ser

autofinanciada, dispone de capital propio para efectuar la compra, pero para este efecto se deben cumplir los siguientes requisitos:

- Se deben realizar contactos con los proveedores para verificar si estos disponen del producto que se necesita.
- Se debe identificar, entre de los proveedores habituales, aquellos con mayor garantía y calidad de servicio.
- Se debe confeccionar un convenio o contrato de compra que recoja los datos de ambas partes para oficializar el intercambio y garantizar el cumplimiento de ambas partes.

A partir de ahí la empresa se dirige a realizar la compra en base a sus necesidades de productos. Los productos a comprar son verificados por la dirección. Luego se realiza la solicitud o pedido de estos, que recoge los datos del suministrador, tipo de producto, la función de dicho producto, qué valor tiene en dólares y las firmas autorizadas.

Se decide la aprobación de dicha solicitud en relación con el capital con que cuenta la entidad en ese momento. De ser aprobada, se procede a la selección de las formas de pago según el proveedor. Por último, se realiza la compra y después de su registro, se deposita en la bodega de la empresa para su posterior chequeo, control y utilización para la venta.

La juguetería se dedica a la compra y venta de mercancías. Por ser esta su principal función y la que dará origen a todas las restantes operaciones, necesita de una constante información resumida y analizada sobre su inventario. Esto requiere de una serie de pasos previos y la apertura de cuentas principales y auxiliares relacionadas con esta actividad que faciliten los controles pertinentes.

Durante la exploración y diagnóstico de la gestión de inventario de la juguetería objeto de estudio se encontraron deficiencias como:

- No existen entradas y salidas del producto, lo que causa irregularidades en el control contable y desconocimiento del valor real del inventario.
- La mercadería no se encuentra codificada ni ubicada en el lugar adecuado en la bodega, lo que provoca que no se encuentre oportunamente el producto y en ocasiones existan pérdidas.
- Ausencia de un sistema de almacenamiento que facilite la organización de la mercancía y el servicio al cliente.
- No se pudo identificar el stock del que se dispone, lo que da lugar a la pérdida de oportunidades de venta al cliente.
- Inexistencia de métodos de control y registro diario de la entrada y salida de

productos al momento de fijar precios de venta y desconocimiento de los costos reales del inventario.

- Ausencia de un sistema integral que facilite la gestión del inventario y su actualización frecuente.

De manera general, la juguetería carece de un sistema de planificación de inventario y su consecuente control, lo que provoca que las existencias físicas de mercadería no coincidan con los documentos existentes, lo que atenta contra la calidad del servicio de la empresa.

Diseño del sistema de planificación de inventarios

La tienda cuenta con un total de nueve trabajadores. El objetivo de la empresa es comprar y vender toda clase de productos y artículos de entretenimiento (juguetes) para niños, adolescentes y jóvenes.

Análisis de los artículos en inventario

La juguetería cuenta con un total de 3038 artículos que han sido agrupados en tres familias, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Distribución de los productos del inventario según familias

N.º	Familias de productos	Artículos/tipos		Valor en el inventario	
		N.º	%	\$	%
1	Juguetes	2435	80,2	50 020,00	74,8
2	Artículos para recién nacidos	346	11,4	7297,45	10,9
3	Otros	257	8,4	9567,03	14,3
Total		3038	100	66 884,48	100

Como se aprecia en la Tabla 2, los juguetes constituyen el 74,8 % del total del inventario de la empresa y, además, son los artículos de mayor movimiento, los artículos de primera necesidad para niñas y niños recién nacidos representan el 10,9 % del valor del inventario, mientras que los artículos variados de otro tipo representan el 14,3 %.

Resulta de vital importancia para la empresa determinar el costo de efectuar un pedido (Cf). En este caso se lo calculó en base a los gastos que registra el área administrativa. La determinación del Cf no constituye un elemento que pueda ser extraído fácilmente de la contabilidad de la empresa, por ello, en ocasiones es necesario utilizar procedimientos de estimación de algunos de estos costos.

El costo de efectuar el pedido es de \$ 1396,00 / mes. El costo por mantenimiento de inventario es de \$ 5725,27 / mes y su comportamiento difiere del de los costos de efectuar un pedido, como se puede ver en la Tabla 3.

Tabla 3

Tasa anual de costo de almacenaje (I)

Elementos	Valores
Gastos de local	\$ 100,00
Interés bancario	\$ 3653,27
Mermas	\$ 100,00
Pérdidas o robos	\$ 231,00
Luz	\$ 253,00
Agua	\$50,00
Gasto de personal (salarios)	\$1338,00

En el ciclo de gestión de un pedido o proceso de pedidos, los proveedores, distribuidores y transportistas intercambian un flujo intenso de información y de mercancías. Su eficiencia se manifiesta en la coordinación de ambos flujos (de información y de mercancías) que permita la agilidad y la ausencia de errores en los mismos. La juguetería ha conseguido, empíricamente y en función de las necesidades del cliente, que dichos flujos y procedimientos internos relacionados con el pedido tengan un tiempo de quince días como ciclo de gestión. El tiempo de ciclo del pedido determina el lapso total de ejecución invertido para lograr dar al cliente la satisfacción a su necesidad, desde el momento en que este la hizo evidente hasta que recibe lo solicitado (Carrillo Ramírez y Labajo González, 2010).

Para estudiar la venta, según Acevedo Suárez et al. (2017), se necesita determinar parámetros relacionados con ella, tales como el consumo diario (Cd), la desviación típica de la demanda diaria (SIG, que se asume como venta en este artículo), el valor unitario de los artículos (p), entre otros, así como el valor de otros parámetros (véase la Tabla 4), que resultan indispensables para la planificación del inventario.

Tabla 4

Medida de algunos parámetros indispensables para la planificación del inventario

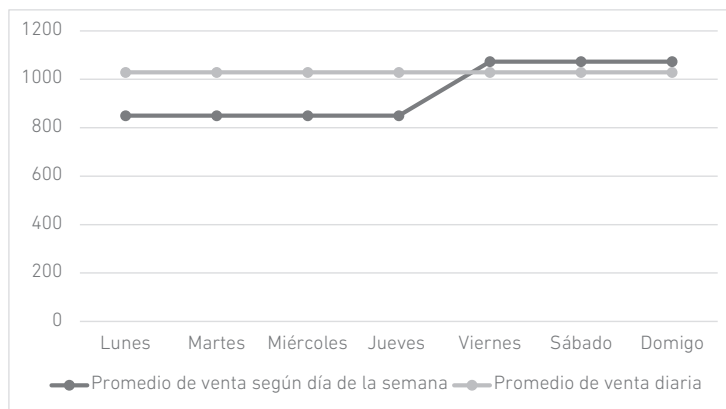
Parámetro	Medida
L (ciclo de gestión de un pedido)	15 días
PC (periodo de consumo que debe cubrir la RE*)	30 días
Ce (consumo promedio diario durante el período que cubre la RE*)	\$ 400,00
D (venta anual)	\$ 37 0577,00
Promedio de ventas mensuales	\$ 30 881,42
Promedio de ventas diarias	\$ 1029,00

*Nota.*RE: reserva estratégica*

Como resultando se tiene un consumo promedio de \$ 1029,00 por día. Los lunes, martes, miércoles y jueves la venta es menor, con un promedio de \$ 850,00 y el resto de los días (viernes, sábado y domingo) la venta se incrementa hasta un promedio de \$ 1073,00. La diferencia entre el valor de las ventas según los días de la semana en relación con el promedio de venta diaria (Cd) se muestra en la Figura 3.

Figura 3

Relación entre la venta diaria y el promedio de venta diario



De ello se obtiene que la desviación típica de la venta diaria (SIG) es de \$ 119,29.

En el caso de la juguetería, debe decirse que esta no cuenta con seguridad en ninguna de sus áreas, no cuenta con un sistema de vigilancia que proteja a la empresa de robos, inadecuada manipulación de la mercadería por parte de los trabajadores, etcétera. Por tal motivo se considera que en el momento del diagnóstico, esta contaba con un nivel de protección del 60 % ($K_s = 0,6$). Con vistas a proporcionar una mejor

gestión de inventarios y rentabilidad para la empresa, se sugiere establecer un coeficiente de seguridad mínimo de 0,8, para los cálculos teóricos de esta investigación.

El primer paso en este sentido es la clasificación del inventario que puede hacerse desde diferentes puntos de vista. En la Tabla 5 se muestra una clasificación general realizada al inventario de la juguetería, atendiendo a los criterios de la nueva propuesta de planificación

Tabla 5

Clasificación del inventario de la juguetería según los diferentes criterios y el tipo de inventario

Criterio	Alternativa
Tipo de demanda	Independiente
Comportamiento de la demanda	Estable y estacional según productos
Valor	Alto (A), medio (B) y bajo (C)
Cantidad	Grande (A), media (B) y poca (C)
Tiempo de vida	Limitado
Dimensiones	Poco voluminoso
Requerimientos de conservación	Bajo techo
Importancia en el proceso	Clave (A) y no determinantes (B y C)
Fuentes de suministro	Proveedores únicos
Ciclo de gestión	Medio
Comportamiento de precios	Estable
Tipo de propiedad	Propia
Posición en el proceso	Producto terminado
Riesgo	Medio

En este tipo de inventario no existe un comportamiento homogéneo de las ventas, debido a la variabilidad en la oferta (Tabla 6).

Tabla 6

Porcentaje del comportamiento de las ventas diarias según la clasificación de los productos en A, B y C

Días de la semana	Promedio de ventas diarias	Categoría A	Categoría B	Categoría C
Lunes, martes, miércoles y jueves	\$ 850,00	\$ 722,5 80 %	\$ 85,00 10 %	\$ 42,5 5 %
Viernes, sábado y domingo	\$ 1073,00	\$912,05 80 %	\$ 53,65 5 %	\$ 107,3 10 %

Los productos de categoría A representan un 80 % de las ventas cualquier día de la semana. Los productos B los lunes, martes, miércoles y jueves representan el 10 % de las ventas y el resto de la semana el 5 %. Los artículos de la categoría C los lunes, martes, miércoles y jueves representan el 5 % de las ventas y el 10 % los restantes días de la semana.

El tamaño de lote que representa la cantidad económica de unidades que deberían comprarse por pedido es de \$ 92 610,00; este es el costo de almacenamiento expresado como porcentaje del valor promedio del inventario. En este caso se calcula el SS con un valor de \$ 4385,28 en base a la posibilidad de no poder realizar una compra a un proveedor fijo en un momento dado. La reserva estratégica (RE) es de un valor de \$ 1200,00. El cálculo del resto de los valores de inventario se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

Cálculo de los parámetros del inventario (E_{min} , $E_{máx}$, Em , PP)

Existencia mínima (E_{min})	Existencia máxima ($E_{máx}$)	Existencia media (Em)
$E_{min} = RE + SS$	$E_{máx} = RE + SS + Q$	$Em = RE + SS + Q / 2$
$E_{min} =$ \$ 1200,00 +\$ 3308,14	$E_{máx} =$ \$1200,00 + \$ 3 308,14 + \$92 610,00	$Em =$ \$ 1200,00 + \$ 3308,14 + 92 610,00 / 2
$E_{min} =$ \$ 4508,14	$E_{máx} =$ \$ 97 118,14	$Em =$ \$ 1200,00 + 3308,14 + \$ 46 305,00

Una empresa puede conocer la cuantía de sus pedidos calculados en base a una dimensión óptima; sin embargo, para ordenar un pedido en la práctica debe saber cuándo efectuarlo; para ello debe advertir el tiempo que transcurre desde la colocación del pedido hasta la recepción. El PP es el nivel de existencias, es decir, indica que se debe realizar un nuevo pedido teniendo en cuenta, entre otros aspectos, el volumen de ventas y el tiempo que tarda el proveedor en servir el pedido. En el caso de la juguetería objeto de estudio, se ha identificado que su punto de pedido es de \$ 18 743,14, es decir que cuando su inventario esté en ese valor debe emitirse un nuevo pedido para completar el stock.

Para estimar el comportamiento anual del costo de efectuar pedidos, se relaciona el costo de pedidos (C_f) con el tamaño del lote (Q). En este caso particular sería \$ 5584,00 / año. El intervalo entre aprovisionamientos (NE) es de 90 días.

Análisis de los requisitos que debe cumplir el tamaño de lote (Q)

Por medio de los estudios realizados en la literatura, se identificaron los requisitos básicos que debe cumplir el tamaño de lote calculado para la planificación del inventario (Tabla 8).

Tabla 8

Requisitos básicos del tamaño del lote

Requisitos básicos del tamaño del lote		
$NE > 2 \times L$	$Q \times 360 / D > 2 \times L$	$Q > L \times D / 180 \text{ días}$
90 días $> 2 \times 15 \text{ días}$	$92\,610,00 \$ \times 360 \text{ días} /$	$92\,610,00 \$ > 15 \text{ días} \times 370\,577,00 \$ /$
90 días $> 30 \text{ días} \leftarrow \text{Se cumple este requisito}$	$370\,577,00 \$ > 2 \times 15 \text{ días}$	$180 \text{ días } 92\,610,00 \$ > 30\,881,4 \leftarrow \text{Se cumple este requisito}$
	$89,9 \text{ días} > 30 \text{ días} \leftarrow \text{Se cumple este requisito}$	

Según Acevedo Suárez et al. (2017), debe cumplirse una de las tres alternativas que se analizan como requisitos que debe cumplir el tamaño de lote. Resulta relevante que en este caso se cumplen las tres alternativas, lo cual corrobora la adecuada planificación de inventario propuesta. Se propone utilizar un sistema de revisión continua o permanente. En estos sistemas, los métodos de gestión de inventario más utilizados son el de revisión continua y el sistema contra inventario. En este caso se propone el sistema de revisión continua, de acuerdo con el cual se ordena una cantidad Q cuando el nivel de inventario llega al valor de s, es decir cuando llega al valor del punto de pedido. La rotación del inventario es de 7,24.

Este valor de rotación del inventario es bajo considerando que debe ser mayor que 12, lo que representa que se debe vender al menos una vez al mes. Aunque teniendo en cuenta los productos que conforman el inventario, juguetes en su gran mayoría, esto puede considerarse un valor promedio. Esto se corresponde con el alto costo de mantenimiento de inventario.

Atendiendo a los resultados obtenidos en la propuesta de sistema de control de inventario, resulta oportuno proponer un grupo de acciones que faciliten la implementación de la propuesta.

- Contratar un obrero para la gestión del inventario, que sería un gasto de 350 al mes por 12 meses.
- Comprar tres máquinas computadoras para manejar el nuevo sistema de control del inventario: 1 500,00 dólares (500,00 dólares cada una).
- Estandarizar la mercadería en el inventario (tarjetas "Kardex", pistola eléctrica y registro del código de barra de los productos).

- Establecer un sistema de seguridad y vigilancia que garantice un nivel de seguridad en la empresa no menor a 80 % ($K_s = 0,8$).
- Rediseñar la política de surtido de la empresa para disminuir los productos que no son característica distintiva de la juguetería.
- Estructurar la organización del inventario en función del espacio con que cuenta la empresa.
- Remodelar la distribución espacial de la juguetería y de la bodega debido al nicho de mercado para el cual está destinado el servicio.
- Eliminar las barreras arquitectónicas para facilitar el movimiento de la mercadería dentro de la tienda.
- Capacitar a los recursos humanos de la empresa en función de la gestión de inventario.

4. DISCUSIÓN

El estudio de inventario presenta dos enfoques, uno tradicional y uno moderno. En relación con el primero, se utilizan los modelos de inventario clásicos como los casos de Lin et al. (2019) y Umry y Singgih (2019). Por ejemplo, el estudio de Bofill et al. (2017) se basa en el análisis de los costos de inventario y aporta a la literatura el enfoque conjunto entre proveedores y la demanda establecida. Esta investigación presenta diferencias con respecto a la anterior, debido a que en este caso el objetivo es la organización y planificación del inventario y el profesor Bofill y sus colaboradores trabajan en la optimización de un sistema de inventario en una cadena comercial. Este trabajo se concentra en un negocio de juguetería, local y de pequeño alcance. En ambas investigaciones se analizan las variables básicas ajustadas a contextos diferentes (Ecuador y Cuba).

En el segundo enfoque, existen modernas técnicas para resolver problemas de optimización de los sistemas de inventario como los modelos de optimización y técnicas de la matemática borrosa (Chan et al., 2020, Modak et al., 2020 y Yang, 2019). Estos son diferentes a este trabajo, pero se mencionan por la gran relevancia de la literatura y la precisión en la práctica empresarial.

5. CONCLUSIONES

El inventario constituye la cantidad de bienes o recursos en existencia en una empresa y tiene el objetivo de satisfacer la demanda y garantizar la máxima satisfacción del cliente final. Este se gestiona para lograr un equilibrio entre los costos propios de mantener un inventario y los costos de no poder satisfacer una demanda. Se identificó una inadecuada gestión y control del inventario en la juguetería. Se diseñó y propuso un sistema

automatizado para el control del inventario en la juguetería que permite determinar de manera efectiva los parámetros involucrados en la gestión de inventario. Se recomienda implementar el sistema propuesto y evaluar los indicadores básicos del control de inventario para su comparación.

REFERENCIAS

- Acevedo-Suárez, J. A., Gómez-Acosta, M. I., Urquiaga-Rodríguez, A. J., González-González, R., Gutiérrez-Praderes, A. M., Hernández-Torres, M., & Acosta Meléndez, L. (2017). *La logística moderna en la empresa*. Editorial Félix Varela.
- Albrecht, M. (2017). Coordination of dynamic lot-sizing in supply chains. *Journal of the Operational Research Society*, 68(3), 322-330. <https://doi.org/10.1057/s41274-016-0102-6>
- Alemanni, M., Alessia, G., Tornincasa, S., & Vezzetti, E. (2008). Key performance indicators for PLM benefits evaluation: The Alcatel Alenia Space case study. *Computers in Industry*, 59(8), 833-841. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2008.06.003>
- Alhidari, A. M., Alassaf, J., & Al-Motawa, A. (2020). Store equity: reformulation of store equity dimensions. *The International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*, 30(2), 213-232. doi:10.1080/09593969.2019.1615530
- Araújo, J. B. C. N., Souza, A. N., Joaquim, M. S., Mattos, L. M., & Lustosa Junior, I. M. (2020). Use of the activity-based costing methodology (ABC) in the cost analysis of successional agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 94(1), 71-80. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00368-6>
- Bofill Placeres, A., Sablón Cossío, N., & Florido García, R. (2017). Procedimiento para la gestión de inventario en el almacén central de una cadena comercial cubana. *Universidad y Sociedad. Revista Científica de la Universidad de Cienfuegos*. 9(1), 41-51.
- Carrillo Ramírez, M. H., & Labajo González, V. (2010). La gestión eficiente del ciclo de pedido en la cadena de suministro. Propuesta y aplicación al caso de una pyme colombiana. *Icade. Revista de las Facultades de Derecho y Ciencias Económicas y Empresariales*, (79), 115-132. <https://revistas.comillas.edu/index.php/revistaicade/article/view/206>
- Cespón, R. (2008, 5 de noviembre). Procedimiento para el diseño del sistema de gestión de inventario en la unidad básica de ATM de la ECM 3 [presentación de escrito]. *Conferencia de Logística y Marketing ANEC LOG-Mark*, Cuba.
- Chan, F. T. S., Wang, Z. X., Goswami, A., Singhanian, A., & Tiwari, M. K. (2020). Multi-objective particle swarm optimisation based integrated production inventory routing

- planning for efficient perishable food logistics operations. *International Journal of Production Research*, 58(17), 5155-5174. doi:10.1080/00207543.2019.1701209
- Chikán, A. (2009). An empirical analysis of managerial approaches to the role of inventories. *International Journal of Production Economics*, 118(1), 131-135. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.08.016>
- Cox, J. F., & Blackstone Jr., J. H. (Eds.). (2002). *APICS Dictionary* (10th ed.). The Educational Resource Management Society.
- De Vries, J. (2020). Identifying inventory project management conflicts: Results of an empirical study. *International Journal of Production Economics*, 226, 107620. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107620>
- Escobar-Barroso, E. I. (2017). *Sistema automatizado para el control de inventarios en la juguetería "Casa de Don Amadeo" de Puyo, Ecuador* [Proyecto de examen complejo previo a la obtención del título de Ingeniería en Contabilidad y Auditoría CPA, Universidad Regional Autónoma de los Andes]. Repositorio Institucional de la Universidad Regional Autónoma de los Andes. <https://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/6627>
- Gebennini, E., Gamberini, R., & Manzini, R. (2009). An integrated production–distribution model for the dynamic location and allocation problem with safety stock optimization. *International Journal of Production Economics*, 122(1), 286-304. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.06.027>
- Hänninen, M. (2020). Review of studies on digital transaction platforms in marketing journals. *The International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*, 30(2), 164-192. doi:10.1080/09593969.2019.1651380
- ICEX. (2018). *El mercado del juguete en Ecuador*. Estudios de Mercado D. <https://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/paises/navegacion-principal/el-mercado/estudios-informes/estudio-mercado-juguete-ecuador-2021-doc2021896350.html?idPais=EC>
- Koschat, M. A. (2008). Store inventory can affect demand: Empirical evidence from magazine retailing. *Journal of Retailing*, 84(2), 165-179. <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2008.04.003>
- Lin, J., Naim, M. M., & Spiegler, V.L.M. (2019). Delivery time dynamics in an assemble-to-order inventory and order based production control system. *International Journal of Production Economics*, 223, 107531. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107531>
- Lopes Martínez, I. (2013). *Desarrollo de modelo referencia que muestra los procesos de la gestión de inventario a nivel empresarial que visión a la cadena de suministro* [Tesis de doctorado]. Universidad Tecnológica de la Habana.

- Modak, N. M, Panda, S., & Sana, S. S. (2020). Optimal inventory policy in hospitals: a supply chain model. *RACSAM*, 114, 109. doi:10.1007/s13398-020-00838-y
- Noblesse, A. M., Boute, R., Lambrecht, M. R., & Van Houdt, B. (2014). Lot sizing and lead time decisions in production/inventory systems. *International Journal of Production Economics*, 155, 351-360. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.04.027>
- Nya, D. N., Hachour, S., & Abouaïssa, H. (2022, 22 al 24 de junio). Inventory Control in Supply Chain: a Model-Free Approach [presentación de escrito]. *Manufacturing, Modelling, Management and Control – 10th MIM, International Federation of Automatic Control*, Nantes, Francia.
- Pan, D., Wiersma, G., Williams, L., & Fong, Y. S. (2013). More than a number: unexpected benefits of return on investment analysis. *The Journal of Academic Librarianship*, 39(6), 566-572. <https://doi.org/10.1016/j.acalib.2013.05.002>
- Ruivo, P., Johansson, B., Sarker, S., & Oliveira, T. (2020). The relationship between ERP capabilities, use, and value. *Computers in Industry*, 117, 103209. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103209>
- Sablón Cossío, N., Alfonso-Durán, A., Cuétara-Hernández, L., & Rodríguez-Sanchez, Y. (2021). Application of supplier collaborative management in a Cuban commercial chain. *Gestão & Produção*, 28(2), e4748. http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2021000200202
- Sohail, N., & Sheikh, T. H. (2018). A study of inventory management system: Case study. *Journal of Dynamical and Control Systems*, 10(10), 1176-1190.
- Umry, T. F., & Singgih, M. L. (2019). Inventory management and reorder point (ROP) strategy using ABC analysis methods in textile manufacture. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, (5). <http://dx.doi.org/10.12962/j23546026.y2019i5.6188>
- Wan, X., Britto, R., & Zhou, Z. (2019). In search of the negative relationship between product variety and inventory turnover. *International Journal of Production Economics*, 222, 107503. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.09.024>
- Yang, T. (2019, 20-22 de julio) Study on the Coordinating Policy of Multi-echelon Inventory System. En J. Kim, Z. Geem, D. Jung, D. Yoo, & A. Yadav. (Eds.) *Advances in Harmony Search, Soft Computing and Applications* (pp. 218-225). *15th International Conference on Harmony Search, Soft Computing and Applications (ICHSA 2019)*, Kunming, China. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31967-0_25.

DESCRIPCIÓN DE PRÁCTICAS DE ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES APLICADAS A LA GESTIÓN DE SERVICIOS HOSPITALARIOS: UN ANÁLISIS DE LA LITERATURA

YASNIEL SÁNCHEZ SUÁREZ *

<https://orcid.org/0000-0003-1095-1865>

Universidad de Matanzas, Facultad de Ingeniería Industrial, Matanzas, Cuba

SHABELIS DE LA CARIDAD ESTUPIÑÁN LÓPEZ

<https://orcid.org/0000-0002-6514-3462>

Universidad de Matanzas, Facultad de Ingeniería Industrial, Matanzas, Cuba

MAYLÍN MARQUÉS LEÓN

<https://orcid.org/0000-0001-9758-0520>

Universidad de Matanzas, Facultad de Ingeniería Industrial, Matanzas, Cuba

ARIALYS HERNÁNDEZ NARIÑO

<https://orcid.org/0000-0002-0180-4866>

Universidad de Ciencias Médicas de Matanzas,
Dirección de Ciencia e Innovación Tecnológica, Matanzas, Cuba

ALBERTO ARNALDO MEDINA LEÓN

<https://orcid.org/0000-0003-2986-0568>

Universidad de Matanzas, Facultad de Ingeniería Industrial, Matanzas, Cuba

Recibido: 15 de junio del 2022 / Aceptado: 22 de julio del 2022

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n43.6110>

RESUMEN. La gestión de instituciones hospitalarias cada vez es más compleja. La situación actual exige la eliminación de los modelos de gestión funcionales por operativos que integren de manera simultánea las funciones preventivas, curativas y directivas de manera eficiente con el fin de elevar la calidad asistencial. El objetivo del presente artículo es analizar la evolución de las prácticas en gerencia de procesos en la administración de servicios hospitalarios. Entre los métodos de investigación utilizados se encuentran

* Correos electrónicos en orden de aparición: yasnielsanchez9707@gmail.com; sabe.98e@gmail.com; maylin.marques@umcc.cu; arialishn.mtz@infomed.sld.cu; amedinaleon@gmail.com

la revisión bibliográfica y documental, la observación científica participativa, las entrevistas y la observación de los procesos que permiten determinar variables clave para el análisis de modelos. Todo ello se complementa con un análisis bibliométrico cuantitativo-descriptivo de las principales aplicaciones de las funciones de administración de operaciones en los sistemas hospitalarios. Se determinan las funciones más utilizadas en los modelos hospitalarios y su influencia en la calidad de los procesos asistenciales.

PALABRAS CLAVE: administración de los servicios de salud / administración hospitalaria / administración de operaciones / análisis de modelos de gestión / calidad asistencial

DESCRIPTION OF OPERATIONS MANAGEMENT PRACTICES APPLIED TO HOSPITAL SERVICES MANAGEMENT: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT. The management of hospital institutions is becoming more and more complex. The current situation requires abandoning functional management models for operational ones that integrate preventive, curative, and managerial functions efficiently to raise the quality of care. This article analyzes the evolution of process management practices in the administration of hospital services. Bibliographic and documentary review, participatory scientific observation, interviews, and observation of the processes are used to determine key variables for the analysis of models, complemented with a descriptive quantitative bibliometric analysis of the main applications of the functions of operations management in hospital systems. The functions most used in hospital models and their influence on the quality of care processes are determined.

KEYWORDS: health services management / hospital administration / analysis of management models / quality of care

1. INTRODUCCIÓN

En el transcurso del tiempo se ha hecho clara la necesidad de que los gobiernos en América Latina, en forma especial, logren establecer políticas públicas con enfoque en el desarrollo de la calidad de la salud (Salas Padilla, 2021) y elevar los sistemas de alta calidad (Del Carmen Sara, 2019). En el contexto mundial, donde se critica la existencia de serios problemas en este sector, los cuales van más allá de los resultados globales medidos a partir de términos cuantitativos, Cuba se alza con un sistema de salud con estándares semejantes a los de naciones de alto desarrollo (De los Santos Briones et al., 2004).

Los servicios de salud bajo un enfoque integral (Terán Rosero et al., 2017) son un bien público que enfrenta complejos retos y tiene en cuenta la relación entre la salud, el desarrollo social y económico y una lógica de búsqueda de ventajas comparativas en un sistema internacional abierto y altamente competitivo (Sánchez Torres, 2017).

Los cambios locales y globales influenciados por profundas transformaciones políticas y económicas repercuten directamente en el sistema de salud a nivel mundial. En este sentido, Vélez (2011) plantea que el crecimiento económico en el sector de la salud genera altas expectativas sociales sobre el cumplimiento de metas sanitarias y el buen desempeño de los sistemas.

El hospital no puede ser tratado como el resto de las instituciones, al tener en cuenta que su actividad final afecta al tratamiento y a la cura de personas. En este sentido, existe una necesidad de eficacia de funcionamiento mucho mayor de todos sus componentes de una manera global y no de manera desarticulada (Saboya Chacón, 2005).

La aplicación de herramientas de gestión por procesos en el sector hospitalario cada vez es más amplia. Ejemplo de ello es el uso de métodos prospectivos para la identificación de variables clave para la gestión (Sánchez Suárez, Marqués León et al., 2021), el uso de indicadores de gestión (Sánchez Suárez, Trujillo García et al., 2021), estudios sobre la planificación de los requerimientos de medicamentos y materiales de uso médico, en los que se realiza un análisis de la función de planificación de las operaciones, y la contextualización en los servicios de salud en contribución a la gestión de las operaciones en los pedidos de medicamentos y materiales de uso médico en Cuba (Marqués León, 2013; Marqués León et al., 2017). A su vez, Rodríguez Sánchez (2017) realiza una revisión de la planificación de la capacidad en los servicios hospitalarios, aunque no indica una evolución en los servicios hospitalarios al enfocar su estudio en el nivel de atención primario. Ramírez Pérez et al. (2021), que realizan una revisión sistemática sobre los métodos *lean six sigma* e industria 4.0 desde la perspectiva de la administración de operaciones (AO) para la mejora de las organizaciones, reconocen la importancia y la aplicabilidad de las herramientas pero no se enfocan en los servicios de salud, cuestión que sí aborda Manrique Chávez (2018) en los servicios estomatológicos y Peltokorpi et al. (2020), que realizan un análisis de las operaciones sanitarias

relacionadas con la integración pagador-proveedor. Ninguna de las metodologías o investigaciones consultadas evidencia a plenitud la evolución de las herramientas de AO en el sector hospitalario.

Una de las herramientas que se utilizan a nivel mundial para la mejora de los procesos de servicios de salud es la AO, herramienta que, a pesar de ser propia de sistemas de manufactura, presenta contextualizaciones en los sistemas de servicios. La AO es un área de estudio de la administración que se centra en la gestión estratégica de las organizaciones. En un contexto mundial marcado por la globalización y la industria 4.0 e impactado por la pandemia del COVID-19, que ha generado mayor incertidumbre y complejidad para las empresas, la adopción de metodologías, métodos y herramientas de AO constituye una necesidad para mejorar el desempeño empresarial (Ramírez Pérez et al., 2021).

En el caso especial de los servicios, permite a las organizaciones administrar los recursos humanos y sus actividades, monitorear desempeños, trayectorias de proyectos e intervenciones, además de implementar un control de la calidad de los diferentes procesos.

Varias de las herramientas de la AO han sido utilizadas para gestionar de manera eficiente los hospitales que cada vez presentan retos más complejos, programación de operaciones, asignación de quirófanos, distribución de pacientes en salas, asignación de médicos a pacientes para el seguimiento clínico, reglas de decisión y despacho para reforzar el triaje hospitalario, pero muchas otras son menos aplicadas. El objetivo de la presente investigación es analizar la evolución de las prácticas en gerencia de procesos en la administración de los servicios hospitalarios.

2. METODOLOGÍA

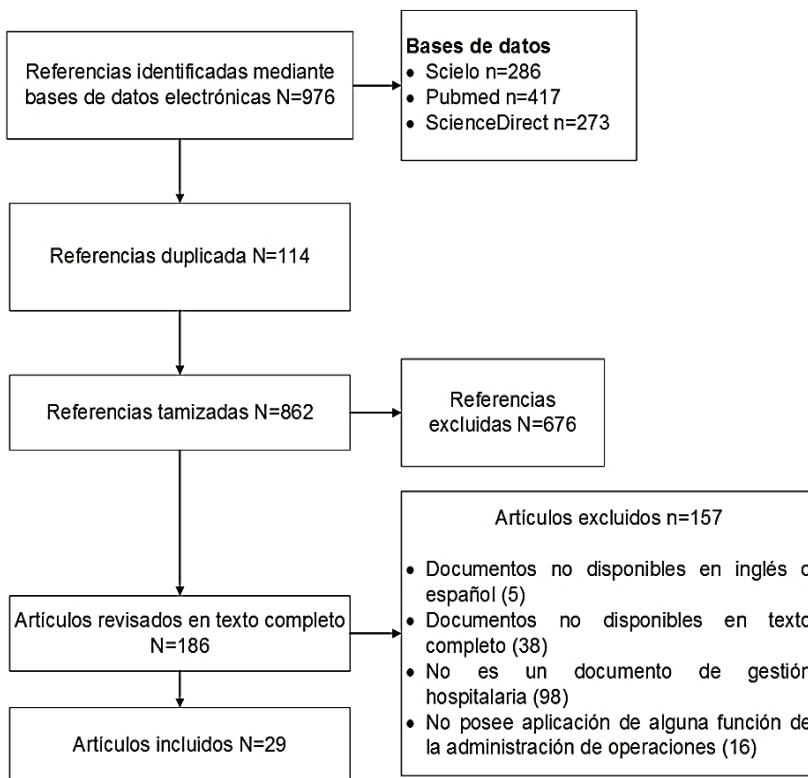
Para el desarrollo de la investigación se parte de una revisión bibliográfica en las siguientes bases de datos académicas: Google académico, Scielo, PubMed y ScienceDirect; los descriptores utilizados en la búsqueda son: "gestión hospitalaria", "gestión de operaciones hospitalaria", "modelos de gestión hospitalaria", "modelos de gestión de operaciones"; no se restringió la búsqueda a los años más recientes por la relevancia de los modelos clásicos y su aportes a esta temática, pero la búsqueda sí presenta una restricción idiomática: solo artículos en inglés y español. Se realizó un análisis exhaustivo de los artículos y se eliminó aquellos que no abordan la gestión hospitalaria desde un enfoque empresarial basado en procesos.

Se realizó un análisis de modelos de gestión de operaciones; para el mismo se seleccionaron las funciones de la AO pero se tomaron solo los modelos que integran más de dos funciones en su concepción metodológica. Con ello se construyó una matriz binaria

para determinar la frecuencia de aparición, la misma que fue procesada con el *software* Ucinet versión 6, de lo cual se obtuvo la red de relaciones entre funciones y autores. Esta información se utilizó para entrecruzarla con los principales atributos o herramientas utilizadas en los modelos de gestión hospitalaria (solo se tuvieron en cuenta los modelos de corte administrativo); con ello se construyó una matriz de análisis de modelos y se la analizó mediante el *software* Gephi versión 0.9.2 y se obtuvo un gráfico (Figura 4) en el que se resaltan con colores las funciones de la AO más utilizadas en la literatura y su repercusión en la eficiencia de la gestión hospitalaria. Para obtener los atributos y funciones clave para el análisis de los modelos se recurrió a la observación científica participativa, a entrevistas, a revisión documental y a observación de los procesos (Da Fonseca, 2015).

Finalmente se realizó un análisis bibliométrico de tipo cuantitativo-descriptivo (Sánchez Suárez, Pérez Castañeira et al., 2021), la estrategia de inclusión de artículos se representa en un diagrama de flujo PRISMA en la Figura 1 (Fuentes et al., 2017), la estrategia de búsqueda coincide con la realizada para el análisis de la bibliografía.

Figura 1



Nota. Adaptado de Fuentes et al. (2017).

Del análisis bibliométrico se obtienen los mapas bibliométricos de tipo *network* que permiten representar la relación entre los autores; también se obtiene el mapa de coocurrencia de palabras clave y una ampliación de los clústers principales del mapa de densidad que demuestra las ventajas de la aplicación de las herramientas o funciones de la AO en la gestión hospitalaria.

3. RESULTADOS

Los hospitales en la literatura clásica internacional son considerados instituciones cerradas y específicas al tratamiento de pacientes enfermos, criterio que se ha ido modificando con el paso del tiempo hasta llegar a considerarlos como instituciones abiertas, dinámicas y extramurales, en las cuales se realizan, en forma simultánea, funciones preventivas, curativas y directivas.

Hernández Nariño (2010), en concordancia con González Pérez (1997), plantea que el servicio hospitalario posee las peculiaridades siguientes:

- El cliente es el paciente y su acompañante
- No existe límite de recursos a utilizarse en cada caso
- Uno de los resultados del proceso es el paciente tratado y curado
- El cliente no decide qué va a comprar, no paga el producto o servicio que recibe, pero sí evalúa la calidad percibida

La actividad hospitalaria juega un papel preponderante en la atención de salud, brinda servicios relacionados con la atención en medicina interna, pediatría, gineco-obstetricia, cirugía general y psiquiatría (Aliño Santiago et al., 2006; García Salabarría, 2006; Iñiguez Rojas, 2012). Por un lado, los hospitales alojan a las personas con los problemas de salud más serios, lo que les confiere alto significado social; por otro lado, la atención especializada y tecnológicamente avanzada que deben brindar, además del servicio hotelero que lógicamente ofrecen, los convierte en los centros más costosos del sistema de salud (Jiménez Paneque, 2004).

En los hospitales, como en todas las organizaciones, existe la necesidad de optimizar los recursos disponibles (Suárez Barraza, 2020) y de lograr su uso racional y productivo, donde se pone de manifiesto lo indispensable que resulta el empleo de métodos efectivos para la planificación de las operaciones. La consideración dominante en el diseño, planeación, control, análisis y administración de estas operaciones de servicios es la aplicación de las habilidades y tecnologías médicas. Como los casos de los pacientes son tan distintos, los hospitales deben ser lo suficientemente flexibles como para aceptar una amplia variedad de tipos y secuencias de tratamiento para los pacientes (Marqués León, 2013).

Las funciones de AO se aplican prácticamente a todas las empresas productivas del mundo, sin importar si son oficinas, bodegas, restaurantes, tiendas departamentales o fábricas; la producción eficiente de bienes y servicios requiere la aplicación efectiva de los conceptos, herramientas y funciones de esta disciplina (Render y Heizer, 2009).

Para el sector de salud, y en especial para la gestión hospitalaria, la AO es de gran interés, ya que está directamente relacionada con la prestación de servicios sanitarios. La atención médica representa un campo ideal para la aplicación de conceptos y herramientas de esta ciencia (Chase y Jacobs, 2011), pues procura asegurar de forma rápida, ágil y sencilla el abordaje de los problemas de salud desde una visión centrada en el proceso, la capacidad, el inventario, la fuerza de trabajo y la calidad (Marqués León, 2013).

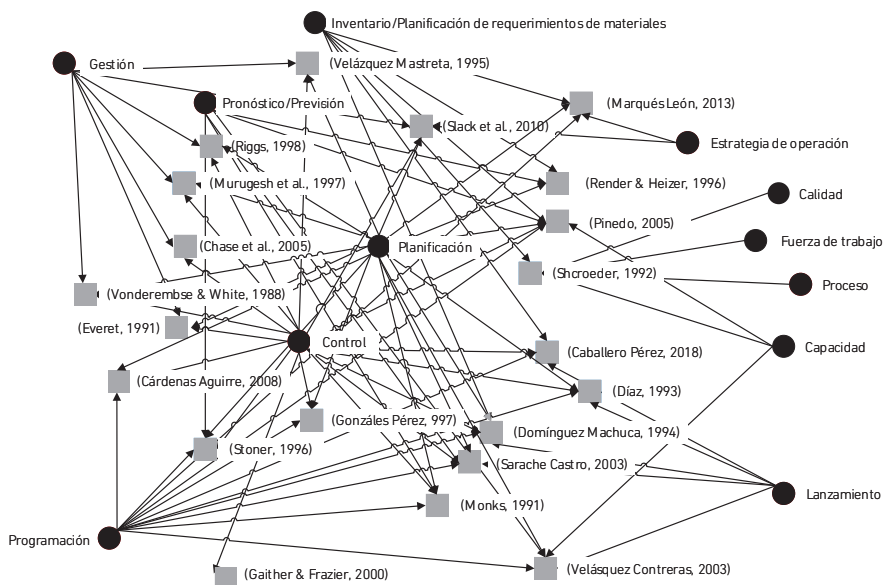
El objetivo de la gestión es elevar la efectividad del sistema al ofrecer a los usuarios mejores resultados en la práctica. Esto, acorde con la información científica disponible que haya demostrado su capacidad para cambiar de forma favorable el curso clínico de una enfermedad (eficacia) y que considere los menores inconvenientes y costos para el usuario y para la sociedad en su conjunto (eficiencia) (Hassan Marrero, 2018).

3.1. Análisis de las funciones de los modelos de AO

La Figura 2 muestra las interacciones entre autores y las funciones de la AO en sus modelos.

Figura 2

Análisis de modelos de AO



A partir del análisis de la red se recupera información de frecuencia de las funciones de la administración de operaciones utilizadas en los modelos (Tabla 1). La descripción y consideraciones se explican a continuación.

Tabla 1

Métricas de la red de modelos de AO

Funciones/autores	Frecuencia	%
Planificación	20	95,24
Gestión	7	33,33
Control	19	90,48
Pronóstico / previsión	8	38,10
Programación	12	57,14
Proceso	1	4,76
Capacidad	3	14,29
Inventario / planificación de requerimientos de materiales	7	33,33
Fuerza de trabajo	1	4,76
Calidad	1	4,76
Lanzamiento / ejecución	5	23,81
Estrategia de operaciones	2	9,52

Del análisis de las funciones de los modelos de AO se obtiene que las funciones más utilizadas son la planificación, con un 95,24 %, y el control, con un 90,48 % de frecuencia de aparición, respectivamente, seguidos por la programación de las operaciones, con 57,14 %. La planificación en su nivel táctico incluye las actividades de previsión (Díaz, 1993; Sarache Castro, 2003), planificación agregada (Render y Heizer, 2009), detallada (Stoner et al., 1996), planificación estratégica a corto, mediano y largo plazo (Cárdenas Aguirre, 2008; González Pérez, 1997) y planificación maestra y de materiales (Pinedo, 2005). Se carece de un concepto integrador que, por un lado, en el sentido vertical (integración funcional), debe enlazar las decisiones de los niveles estratégico, táctico y operativo; y, por el otro, en el sentido horizontal (integración interna), debe relacionarse con los demás subsistemas de la organización (Marqués León, 2013).

La previsión-pronóstico es una herramienta utilizada en 38,10 % de los modelos y en su totalidad es utilizada antes de la planeación y la programación de las operaciones. En la mayoría de casos su diseño base es para empresas de manufactura. Se evidencia la aplicación de herramientas para el cálculo de la capacidad de los procesos (Pinedo, 2005; Velásquez Contreras, 2003), además de la eficiencia de los niveles de inventario basados en herramientas de planificación de inventarios.

Los autores que más integran funciones en sus modelos son Caballero Pérez (2018), Pinedo (2005) y Velásquez Contreras (2003) con una frecuencia del 50 %, seguidos por los modelos de Díaz (1993), Domínguez Machuca et al. (1995) y Marqués León (2013) con un 41,67 %.

3.2 Análisis de modelos de gestión hospitalaria

La Tabla 2 muestra la red de interacciones entre autores y las herramientas utilizadas en los modelos de gestión, donde las herramientas definidas a partir del análisis de los documentos son: trabajo con expertos (H1), caracterización y clasificación de sistemas (H2), pronóstico y previsión (H3), planificación (H4), gestión por procesos (H5), control de gestión (H6), análisis de la demanda (H7), plan maestro (H8), capacidad (H9) y geolocalización (H10).

Tabla 2

Análisis de modelos de gestión hospitalaria

Autores/herramientas	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	%
Vonderembse y White (1988)				X	X	X					30
Monks (1991)			X	X		X		X	X		50
Everet (1991)				X		X					20
Díaz (1993)			X	X	X	X					40
Domínguez Machuca (1995)				X	X	X					30
Velásquez Mastreta (1995)				X	X	X					30
Stoner (1996)			X	X	X	X					40
Murugesh (1997)				X	X	X					30
Riggs (1998)				X	X	X					30
Hernández Torres (1998)	X						X				20
Gaither y Frazier (2000)				X	X	X					30
Sarache Castro (2003)			X	X	X	X					40
Velásquez Contreras (2003)			X		X	X		X	X		50
Pinedo (2005)			X	X		X		X	X		50
Chase et al. (2005)				X	X	X					30
Borroto Pentón (2005)	X	X			X	X			X		50
Cárdenas Aguirre (2008)				X	X	X		X			40
Render y Heizer (2009)			X	X	X	X		X			50
Hernández Nariño (2010)	X	X			X		X		X		50
Slack et al. (2010)			X	X	X	X					40
García Fenton (2011)	X	X			X	X					40

(continúa)

(continuación)

Autores/herramientas	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	%
Schroeder (2011)					X	X			X		30
Hernández Nariño et al. (2011)	X	X			X	X					40
Marqués León (2013)	X	X	X	X	X		X	X	X		80
Guanín Moreno y Andrango Cuzco (2015)	X	X			X		X	X			50
Rodríguez Sánchez (2017)				X		X	X		X	X	50
Alfaro Torres et al. (2017)		X			X						20
González Reyes (2017)							X		X		20
Sánchez Suárez et al. (2021)	X				X	X					30
%	27,59	24,14	31,03	62,07	79,31	82,76	17,24	24,14	31,03	3,45	

Los atributos o herramientas con más frecuencia de aparición son: gestión por procesos, control de gestión y planificación, con frecuencias de aparición de 79,31 %, 82,76 % y 62,07 %, respectivamente.

Sin duda, la gestión hospitalaria busca unir los sistemas de gestión con los paradigmas clínicos y la integración de la ética con las prácticas clínicas. Uno de los principales problemas es la escasez de recursos (por su progresivo encarecimiento) frente a demandas crecientes, particularmente aquellas relacionadas con la equidad.

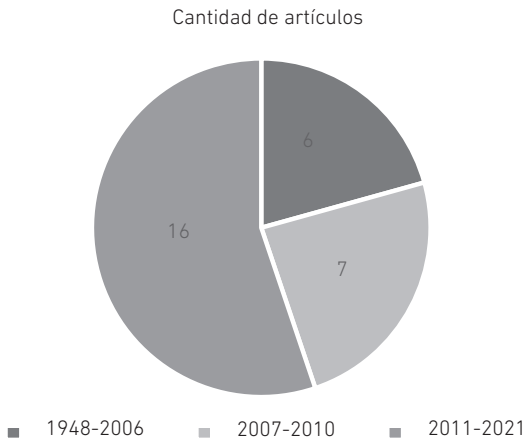
Otras herramientas de gran aplicación en la gestión hospitalaria son la simulación y el *lean manufacturing*, con poca integración en los modelos de salud u hospitalarios y con aplicaciones aisladas para resolver problemáticas de manera aislada. Se recalcan el trabajo con expertos y los estudios de análisis de capacidad basada en la trayectoria del paciente.

3.3 Resultados de la aplicación de la AO en la gestión hospitalaria

Se recopilieron veintinueve artículos que presentan resultados de aplicaciones de la AO en la gestión hospitalaria internacional. Se muestran aplicaciones en revistas españolas, colombianas, mexicanas, francesas e indias. La Figura 3 muestra los intervalos de años y la cantidad de artículos publicados.

Figura 3

Cantidad de publicaciones por año



A partir del análisis de coocurrencia de palabras se obtiene el mapa bibliométrico de la Figura 4, en el que se muestra el clúster de mayor coocurrencia, con una representación de resultados en el sector hospitalario de un 65,40 %. La Figura 5 muestra las relaciones de coautoría con una frecuencia mínima de relaciones de 3.

Las organizaciones que prestan servicios de salud están en una etapa de transición hacia el uso de aplicaciones médicas. La información es un componente indispensable en la conducción y consecución de los objetivos planeados, razón por la cual es necesario que la institución establezca políticas de seguridad que aseguren que la información sea protegida de una manera adecuada, independientemente de la forma en la que esta sea manejada, procesada, transportada o almacenada. La aplicación de una política de seguridad en un hospital evitará la fuga de información sensible que pueda poner en riesgo la institucionalidad de la organización (Cárdenas Calderón, 2018).

Figura 4

Mapa bibliométrico de coocurrencia de palabras claves

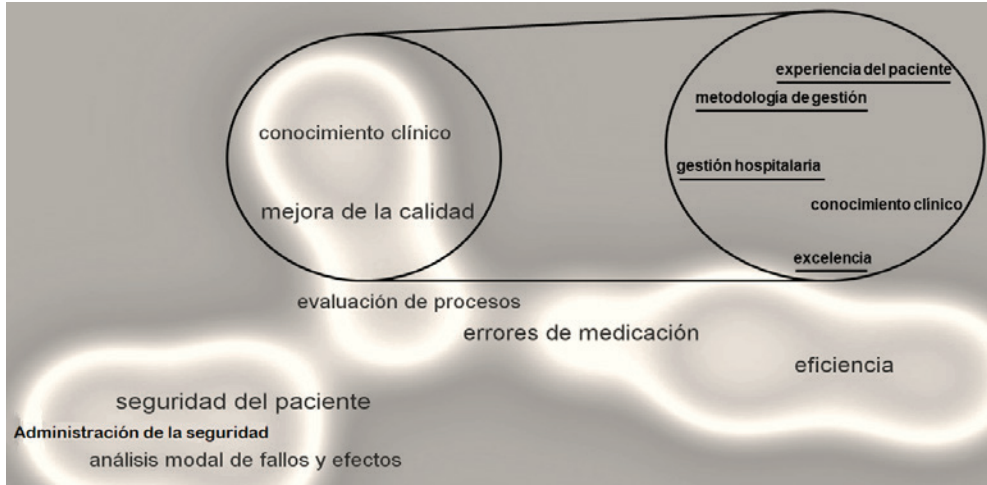
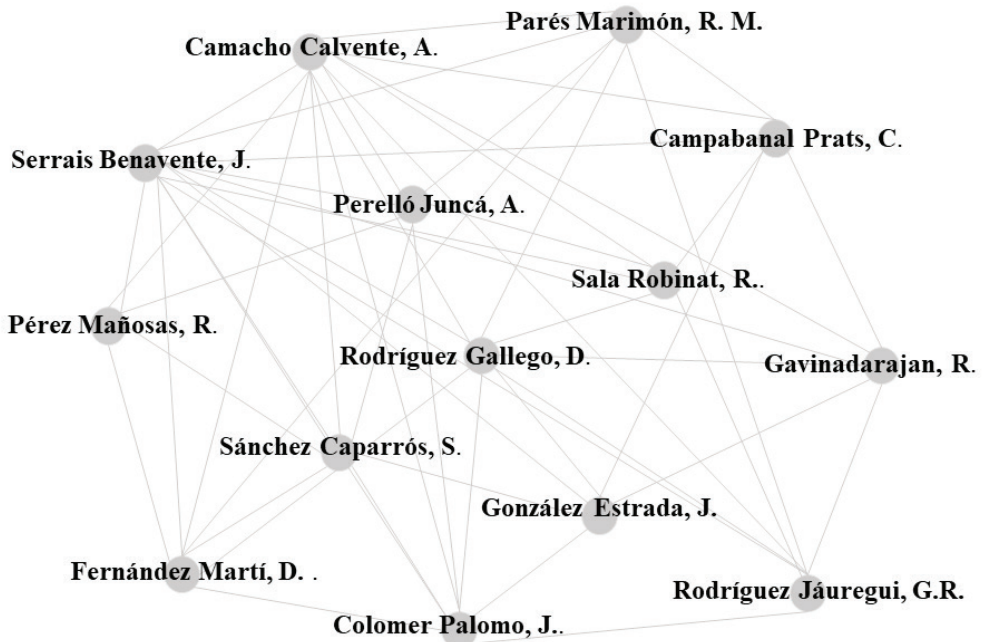


Figura 5

Mapa bibliométrico de relaciones de autoría



A partir del análisis de las funciones de la administración de operaciones, se identifica una serie de herramientas y aplicaciones que también se han diversificado en los servicios hospitalarios con la integración de otras herramientas de la gerencia de salud, entre ellas podemos citar las que se detallan a continuación.

Lean manufacturing

De acuerdo con Hernández Matías y Vizán Idoipe (2013): *lean manufacturing* es una filosofía de trabajo basada en las personas que define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción focalizándose en identificar y eliminar todo tipo de desperdicios.

Lean mira lo que no deberíamos estar haciendo porque no agrega valor al cliente y tiende a eliminarlo. Para alcanzar sus objetivos, despliega una aplicación sistemática y habitual de un conjunto extenso de técnicas que cubren la práctica totalidad de las áreas operativas de fabricación. La filosofía *lean* no da nada por sentado y busca continuamente nuevas formas de hacer las cosas de manera más ágil, flexible y económica (Hernández Matías y Vizán Idoipe, 2013).

Ha sido empleada en el cuidado de la salud en distintos países como un planteamiento global de mejora de los procesos integrados de las organizaciones de atención de la salud con resultados de contención de costos y como un enfoque para el cambio organizacional efectivo. Esto conduce a indagar en nuevas formas de gestión que aúnen sostenibilidad del Sistema Nacional de Salud, eficiencia y eficacia en actuaciones, aumentar la productividad, disminuir los errores asistenciales, de estrategia y de toma de decisiones en materia sanitaria (Arroyo Carbajal, 2020).

La metodología *lean six sigma* en el sector de la salud (*lean healthcare*) busca mejorar los procesos del sector mediante la eliminación de actividades que no generan valor agregado y la reducción de tiempos de espera (Giraldo Betancur, 2016) por medio de optimización de la capacidad y la disminución de la variabilidad de los procesos (Heflo, 2017).

Simulación (teoría de colas)

Las colas o líneas de espera se presentan cuando los clientes o usuarios llegan a un lugar demandando un servicio. Si la persona que ofrece el servicio no está disponible inmediatamente y el cliente decide esperar, entonces se forma una línea de espera (Hillier y Lieberman, 2014). El estudio proporciona tanto una base teórica del tipo de servicio que se puede esperar de un determinado recurso, como la forma en la cual puede ser diseñado (Shortle et al., 2017).

Hay factores principales que condicionan las expectativas y deseos de los clientes y atributos básicos en los que se centra su evaluación, que fallan normalmente y generan

la insatisfacción de los clientes por considerar que se puede lograr una mejora del servicio solamente con capacitación de los funcionarios o gerentes, en vez de trabajar seriamente los procesos que respaldan la calidad (Maquera Jahuir, 2016).

Los servicios de salud deben buscar el mejoramiento de la calidad de la atención en salud. Una de las formas de lograrlo es colocando a disposición de los médicos mecanismos de educación continua. El conocimiento actualizado es un factor esencial en la práctica médica y requiere profesionales actualizados (Latorre Santos et al., 2002).

Programación

La programación genera un impacto tan considerable en el funcionamiento de los servicios y de la institución en general, que hospitales, clínicas e, incluso, universidades alrededor del mundo han iniciado análisis y estudios del proceso y su comportamiento con miras a buscar formas de mejorar y hacer más eficiente el proceso (Hernández Quiceno, 2020).

Se puede evaluar la pertinencia de la aplicación efectiva de la administración de operaciones en las organizaciones que prestan servicios como el sector hotelero y la salud. En tal sentido, la administración de operaciones permite y propicia el aseguramiento de la calidad de la cobertura de salud que se les brinda a los pacientes, así como el control de los costos y recursos. Adicionalmente, permite la prestación de servicios efectivos, seguros y centrados en el paciente, sin la generación de sobrecostos en áreas clave como la gestión de los inventarios (Atasu et al., 2020).

4. DISCUSIÓN

Una de las tareas más importantes y complejas es la excelencia operacional en instituciones hospitalarias, en particular el empeño por optimizar recursos disponibles y lograr su uso racional. En este sentido, en el sector, la AO es una de las áreas pasadas por alto y menos desarrolladas. En Cuba encontramos modelos de gestión hospitalaria con amplia aplicación de herramientas de la AO; ejemplo de ello son las tesis de doctorado de Marqués León (2013) y Rodríguez Sánchez (2017). La primera desarrolla un modelo para la planificación de los requerimientos de materiales de uso médico en hospitales integrando herramientas y funciones; su investigación le confiere gran peso a la planificación como una de las funciones principales ya que permite fijar objetivos y metas. La segunda desarrolla un modelo para la planificación de la capacidad en el sistema de atención primaria de salud que permita aumentar la calidad del servicio que es ofrecido al paciente.

Del análisis bibliométrico realizado se obtiene que las principales aplicaciones de las funciones de la AO en el sector hospitalario en Cuba son comparables con las de sistemas de salud de alto nivel como el de España; los estudios de los resultados de

dichas aplicaciones son publicadas en revistas de alto impacto, indexadas en Scopus, de los países más desarrollados. En ellos, sin embargo, se evidencia la poca integración de las funciones o herramientas como: simulación, *lean manufacturing* y programación; al contrario, se utilizan solo para resolver problemas aislados y no con una visión de procesos integrados. A su vez, las herramientas más aplicadas son las de gestión por proceso, control de gestión y planificación. El 100 % de los modelos analizados utilizan la previsión y los pronósticos en etapas previas a la planeación, lo que le confiere gran importancia a la herramienta, si se utiliza de manera correcta; en este sentido, existen varios programas computacionales que permiten la realización de los pronósticos; entre ellos, los más utilizados son Forecast Pro, AFT, tsMetrix, SAS, SPSS, SAP, POM Computer Library, WINQSB, Statgraphic, Microsoft Excel (ATP, Analysis Tool Pack).

Mediante la búsqueda de aplicación en el campo de la AO y el análisis bibliométrico realizado para complementar los resultados obtenidos, se evidencian mejoras de los procesos asistenciales con aplicación de sistemas de gestión más operacionales y menos funcionales.

La AO posee herramientas que pueden ser aplicadas y contextualizadas en los servicios hospitalarios para contribuir a la mejora de los sistemas de salud al desarrollar una visión conjunta del sistema optimizando de recursos humanos, técnicos y financieros para poder llevar a las instituciones de salud a la superación continua de su eficiencia, efectividad y eficacia. Además, permiten brindar un servicio seguro, centrado en el paciente, sin generar costos en áreas importantes como la gestión de inventarios. Asimismo, garantizan que los insumos se conviertan en bienes.

5. CONCLUSIONES

La actividad hospitalaria juega un papel preponderante en la atención de salud, por lo que la optimización de recursos mediante herramientas de gestión de operaciones es una necesidad imperante para la mejora en la calidad de los procesos asistenciales.

Las funciones de la AO que más frecuencia de aparición presentan en los modelos analizados son: el control de gestión, la planificación y la programación de operaciones. Al contrastar estos resultados con los modelos de gestión hospitalarios se evidencia el uso de herramientas de gestión por procesos, control de gestión y planificación; otras herramientas como la simulación, *lean manufacturing* y la programación de operaciones son menos integradas en los modelos hospitalarios.

Las principales aplicaciones de la AO en la gestión hospitalaria encontradas en la literatura se publican en países como España, Colombia, México, Francia e India; las publicaciones son registradas en revistas indexadas en Scopus, con una mayor frecuencia de aparición a partir del año 2011.

Las funciones de la AO, aunque presentan una mayor aplicación en los sistemas de manufactura, pueden ser contextualizadas y aplicadas en los servicios, particularmente los de salud, y hay evidencia de que eleva la eficiencia de los procesos hospitalarios.

REFERENCIAS

- Aliño Santiago, M., López Esquirol, J. R., & Navarro Fernández, R. (2006). Adolescencia: aspectos generales y atención a la salud. *Revista cubana de Medicina General Integral*, 22(1). <http://ref.scielo.org/nzqy8h>
- Arroyo Carbajal, N. (2020). *Estudio del uso de herramientas de lean manufacturing con diversas aplicaciones en hospitales* [Tesis de bachillerato] Repositorio Digital de Tesis y Trabajos de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/19127>
- Atasu, A., Corbett, C., Huang, X., & Toktay, L. (2020). Sustainable operations management through the perspective of manufacturing & service operations management. *Manufacturing & Service Operations Management*, 22(1), 146-157. <https://doi.org/10.1287/msom.2019.0804>
- Caballero Pérez, L. (2018). *Procedimiento para el perfeccionamiento de las funciones de la administración de operaciones en la agencia gráfica de Holguín* [Tesis de maestría inédita]. Universidad de Holguín.
- Cárdenas Aguirre, D. M. (2008). *Modelo para el diseño del sistema de gestión de la producción con enfoque logístico: Aplicaciones a pymes metalmecánicas de la ciudad de Manizales - Colombia* [Tesis de doctorado inédita]. Instituto Superior Politécnico "Jose Antonio Echavarría".
- Cárdenas Calderón, G. (2018). *Diseño de una política de seguridad de la información basada en la norma ISO 27799 para el control de acceso a las aplicaciones médicas de la red en el Hospital Axxis* [Tesis de maestría]. Repositorio Digital Universidad Internacional SEK. <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2939>
- Chase, R., & Jacobs, R. (2011). *Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros* (13ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Da Fonseca, J. P. (2015). *Modelo y procedimiento para el control de gestión de proyectos de inversión social* [Tesis de doctorado inédita]. Universidad de Matanzas.
- De los Santos Briones, S., Garrido Solano, C., & de Jesús Chávez Chan, M. (2004). Análisis comparativo de los sistemas de salud de Cuba y Canadá. *Revista Biomedica*, 15(2), 81-91. <https://doi.org/10.32776/revbiomed.v15i2.376>

- Del Carmen Sara, J. (2019). Lineamientos y estrategias para mejorar la calidad de la atención en los servicios de salud. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 36(2), 288-295. <https://dx.doi.org/10.17843/rpmesp.2019.362.4449>
- Díaz, A. (1993). *Producción: gestión y control*. Editorial Ariel.
- Domínguez Machuca, J., García González, S., Ruíz Jimenez, A., Domínguez Machuca, M., & Álvarez Gil, M. (1995). *Dirección de operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*. McGraw-Hill.
- Fuentes, J. C., Cañón, L. A., Pérez, Á. V., Pinzón, C. E., Pérez, A. M., Avellaneda, P. A., Morales, Á. E., & Fernández, J. E. (2017). Metodología para la priorización en investigación en salud: revisión sistemática de la literatura. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 41, e122. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2017.122>
- García Salabarría, J. (2006). Sobrevivirán los niveles de atención a la revolución de la salud pública cubana. *Revista Cubana de Salud Pública*, 32(1). <http://ref.scielo.org/9ksh5>.
- Giraldo Betancur, E. (2016). *Estudio sobre la aplicación de lean healthcare en el sector hospitalario en Medellín* [Tesis de maestría]. Repositorio Institucional Universidad EAFIT. <http://hdl.handle.net/10784/9523>
- González Pérez, R. (1997). *Modelo GOS para la gestión de operaciones de servicios* [Tesis de maestría inédita]. Universidad de Matanzas.
- Hassan Marrero, N. (2018). *Mejora de la gestión del flujo de pacientes en el Hospital Clínico Quirúrgico Docente Faustino Pérez Hernández* [Tesis de maestría inédita]. Universidad de Matanzas.
- Heflo (2017, 8 de setiembre). Definiciones de gestión por procesos: seleccionamos las 10 mejores. <https://www.heflo.com/es/blog/bpm/definicion-gestion-proceso/>
- Hernández Matías, J. C., & Vizán Idoipe, A. (2013). *Lean manufacturing: conceptos, técnicas e implantación*. EOI Escuela de Organización Industrial.
- Hernández Nariño, A. (2010). *Contribución a la gestión y mejora de procesos en instalaciones hospitalarias del territorio matancero* [Tesis de doctorado inédita]. Universidad de Matanzas.
- Hernández Quiceno, V. (2020). *Metodología para estandarizar el proceso de programación de salas de cirugía* [Tesis de maestría]. Repositorio Institucional Universidad EAFIT. <http://hdl.handle.net/10784/17031>
- Hillier, F., & Lieberman, G. (2014). *Fundamentos de investigación de operaciones*, McGraw-Hill Interamericana.

- Iñiguez Rojas, L. (2012). Aproximación a la evolución de los cambios en los servicios de salud en Cuba. *Revista Cubana de Salud Pública*, 38(1), 109-125. <http://ref.scielo.org/hngwhw>.
- Jiménez Paneque, R. E. (2004). Indicadores de calidad y eficiencia de los servicios hospitalarios: Una mirada actual. *Revista Cubana de Salud Pública*, 30(1). <http://ref.scielo.org/5hbrdw>.
- Latorre Santos, C., Ruiz Sternberg, A. M., Palacios Sanchez, L., Velez van Meerbeke, A., & Trillos Pena, C. E. (2002). Evaluación de un programa de educación médica para el mejoramiento de la calidad de atención de los médicos generales de la red prestadora de servicios de primer y segundo nivel de atención del suroccidente del Distrito Capital. *Investigaciones en Seguridad Social y Salud*, 1(4), 93-112. <https://www.researchgate.net/publication/304579595>
- Manrique Chávez, J. E. (2018). Administración y gestión en estomatología. *Revista Estomatológica Herediana*, 28(2), 69-71. <https://doi.org/10.20453/reh.v28i2.3321>
- Maquera Jahuira, M. (2016). *Nivel de cumplimiento del proceso administrativo en salud y la calidad de atención percibida por los usuarios en el servicio de cirugía del Hospital Nacional PNP-Luis N. Sáenz* [Tesis de maestría]. Repositorio Principal Universidad Privada Norbert Wiener. <http://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/123456789/2935>
- Marqués León, M. (2013). *Modelo y procedimientos para la planificación de medicamentos y materiales de uso médico en instituciones hospitalarias del territorio matancero*. [Tesis de doctorado inédita]. Universidad de Matanzas.
- Marqués León, M., Negrin Sosa, E., Hernández Nariño, A., Nogueira Rivera, D., & Medina León, A. (2017). Modelo para la planificación de medicamentos y materiales de uso médico en instituciones hospitalarias. *Gestión y Política Pública*, (SPE), 79-124. <https://www.researchgate.net/publication/324598666>
- Peltokorpi, A., Matinheikki, J., Lehtinen, J., & Rajala, R. (2020). Revisiting the unholy alliance of health-care operations: payor-provider integration of occupational health services. *International Journal of Operations & Production Management*, 40(4), 357-387. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-04-2019-0326>
- Pinedo, M. L. (2005). *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*. Springer Science & Business Media.
- Ramírez Pérez, J., López Torres, V., Hernández Castillo, S., & Morejón Valdés, M. (2021). Lean six sigma e industria 4.0, una revisión desde la administración de operaciones para la mejora continua de las organizaciones. *UNESUM Ciencias:*

Revista Científica Multidisciplinaria, 5(4), 151-168. <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v5.n4.2021.584>

- Render, B., & Heizer, J. (2009). *Principios de administración de operaciones* (7ª ed.). Pearson.
- Rodríguez Sánchez, Y. (2017). *Contribución a la planificación de la capacidad en los procesos asistenciales en la Atención Primaria de Salud* [Tesis de doctorado inédita]. Universidad de Matanzas.
- Saboya Chacón, I. (2005). *Gestión de servicios hospitalarios públicos: estudio comparativo entre hospitales de la región noroeste de Brasil y Cataluña* [Tesis de doctorado]. Tesis Doctorals en Xarxa, Universidad de Barcelona]. <https://www.tesisenred.net/handle/10803/1495#page=1>
- Salas Padilla, J. C. (2021). Políticas Públicas para mejorar la calidad de servicios de salud. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(1), 253-266. 2707-2215. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i1.223
- Sánchez Suárez, Y., Marqués León, M., Hernández Nariño, A., & Santos Pérez, O. (2021). Análisis estructural de la gestión de flujo de pacientes con coronavirus en Cuba. *Ingeniería Industrial*, XLII(3), 1-13. <https://rii.cujae.edu.cu/index.php/revistaind/article/view/1129/1048>
- Sánchez Suárez, Y., Pérez Castañeira, J. A., Sangroni Laguardia, N., Cruz Blanco, C., & Medina Nogueira, Y. E. (2021). Retos actuales de la logística y la cadena de suministro. *Ingeniería Industrial*, 42(1), 169-184. <http://ref.scielo.org/7rprcx>
- Sánchez Suárez, Y., Trujillo García, L., Marqués León, M., & Santos Pérez, O. (2021). Los indicadores de gestión hospitalaria en tiempos de covid-19. *Visionario Digital*, 5(4), 58-77. <https://doi.org/10.33262/visionariodigital.v5i4.1901>
- Sánchez Torres, D. A. (2017). Accesibilidad a los servicios de salud: debate teórico sobre determinantes e implicaciones en la política pública de salud. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 55(1), 82-89. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=71852>
- Sarache Castro, W. A. (2003). *Modelo con enfoque estratégico y procedimientos para contribuir al incremento del nivel de desempeño de las PYME's de confección desde la función de producción. Aplicaciones en la región del Tolima, Colombia* [Tesis de doctorado inédita]. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
- Shortle, J., Thompson, J., Gross, D., & Harris, C. (2017). *Fundamentals of queueing theory*. John Wiley & Sons.
- Stoner, J., Freeman, E., & Gilbert, D. R. (1996). *Administración*. Prentice Hall.

Suárez Barraza, M. F. (2020). Implementación del “Kaizen-Innovación de Procesos-Jidoka” para hacer frente al COVID-19: un caso de estudio en un hospital público. *Ingeniería Industrial*, 39, 75-96. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2020.n039.4916>

Terán Rosero, G. J., Mora Chuquer, E. J., Gutiérrez Villarrea, M. d. R., Maldonado Tapia, S. C., Delgado Campaña, W. A., & Fernández Lorenzo, A. (2017). La gestión de la innovación en los servicios de salud pública. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 36(3). <http://ref.scielo.org/q4wj4p>

Velásquez Contreras, A. (2003). Modelo de gestión de operaciones para PyMES innovadoras *Revista Escuela de Administración de Negocios* (47), 66-87.

Vélez, M. (2011). La investigación en sistemas de salud: Una necesidad mundial. *Revista Médica de Risaralda*, 17(2), 106-112. <https://doi.org/10.22517/25395203.7597>

**CALIDAD
Y MEDIOAMBIENTE**

Quality and Environment

DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA BIODEGRADACIÓN DE RESIDUOS DE ACEITE LUBRICANTE RETENIDOS EN BENTONITA USANDO EL CONSORCIO BACTERIANO *OIL EATING MICROBES* (*RODHOCOCUS, PSEUDOMONAS Y BACILLUS*)

JAQUELINE HEIDY CHIRRE FLORES*

Universidad Nacional de Ingeniería,
Facultad de Petróleo, Petroquímica y Gas Natural, Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0003-3104-3938>

OSIRIS FELICIANO MUÑOZ

Universidad Nacional Mayor de San Marcos,
Facultad de Ingeniería,
Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-8883-6907>

ROBERTO ROBLES CALDERÓN

Universidad Nacional Mayor de San Marcos,
Facultad de Química e Ingeniería Química, Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-7077-5085>

Recibido: 16 de junio del 2022 / Aceptado: 4 de julio del 2022

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n43.6111>

RESUMEN. Los aceites que se utilizan como lubricantes en maquinaria, vehículos o equipos industriales se deterioran con el uso, es decir, pierden sus propiedades por efecto de las condiciones medioambientales, lo que da lugar a la formación de ácidos y compuestos de oxidación que pueden ser corrosivos y son considerados residuos peligrosos. Esta investigación busca determinar el rendimiento de la biodegradación del aceite lubricante automotriz usado utilizando el consorcio bacteriano *oil eating microbes* (*Rhodococcus, Pseudomonas y Bacillus*). Este se cuantificó por medio de la reducción de la cantidad de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) presentes en la bentonita en cuatro pruebas experimentales. Se obtuvo como resultado la disminución de HTP en un 57 %, en las siguientes condiciones de operación del proceso:

* Correos electrónicos en orden de aparición: jchirre@fip.uni.edu.pe; ofelicianom@unmsm.edu.pe; rroblesc1@unmsm.edu.pe

T = 35 °C, pH = 7,0, agitación mecánica = 120 rpm, dilución de la arcilla contaminada en agua en una relación de 1 (arcilla) : 3 (agua).

PALABRAS CLAVE: biodegradación / aceites usados / dilución / bentonita

DETERMINATION OF THE PERFORMANCE OF BIODEGRADATION OF LUBRICANT OIL RESIDUES RETAINED IN BENTONITE USING THE OIL EATING MICROBES (*RODHOCOCUS*, *PSEUDOMONAS*, AND *BACILLUS*) BACTERIAL CONSORTIUM

ABSTRACT. Oils used as lubricants in machinery, vehicles, or industrial equipment deteriorate with use; that is, they lose their properties due to the effect of environmental conditions; and acids and oxidation compounds, that can be corrosive and are considered hazardous waste, are formed. This research seeks to determine the biodegradation performance of used automotive lubricating oil by the oil eating microbes (*Rhodococcus*, *Pseudomonas*, and *Bacillus*) bacterial consortium quantifying the total petroleum hydrocarbons (TPH) retained in bentonite in four experimental tests. A 57 % TPH decrease was obtained in the following conditions: T = 35 °C, pH = 7,0, mechanical agitation = 120 rpm, and dilution of the contaminated clay in water in a ratio of 1 (clay) : 3 (water).

KEYWORDS: biodegradation / waste oils / dilution / bentonite

1. INTRODUCCIÓN

La biorremediación es una tecnología basada en la utilización de los microorganismos y su potencial degradador para eliminar los contaminantes que afectan el medio ambiente mediante reacciones biológicas que permiten obtener productos inocuos como biomasa, dióxido de carbono y agua (Rahman et al., 2001).

De entre todos los tipos de contaminantes, los hidrocarburos son los que han mostrado mejores resultados en la aplicación de la tecnología de la biorremediación (Rosenberg et al., 1992).

Los isoprenoides y los hidrocarburos cíclicos o nafténicos son degradados en mayor tiempo que los lineales. Respecto a los hidrocarburos aromáticos, a medida que aumenta el número de anillos y los sustituyentes alquilo —por tanto, su peso molecular—, aumenta su resistencia a la biodegradación (Prince, 2005). La actividad metabólica del consorcio bacteriano es afectada por la limitación de oxígeno (Eriksson y Weisner, 1999).

Las bentonitas, consideradas como suelos arcillosos montmorilloníticos, son altamente plásticas y expansivas (Duque y Escobar, 2002, pp. 1-8); se utilizan como medio filtrante para decolorar el aceite lubricante de origen mineral usado, proceso del que se obtiene como residuo la arcilla bentonita contaminada, cuyo residuo contaminante puede ser removido mediante la biodegradación de hidrocarburos con microorganismos. En este proceso los microorganismos se adaptan o desarrollan su metabolismo en función de los parámetros físico-químicos (pH, temperatura, humedad), así como de los compuestos químicos que se encuentran en su ambiente inmediato. (Mac Naughton et al., 1999; Haritash y Kaushik, 2009).

Vallejo et al. (2005) estudiaron la bioestimulación en la biodegradación de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) en suelos contaminados con petróleo y evaluaron el efecto de la adición de nutrientes como nitrógeno, fósforo y fertilizantes para la biodegradación de HTP. Este estudio se realizó durante 125 días con cinco eventos de muestreo, se evaluaron pH, porcentaje de humedad y nutrientes y se hizo un recuento en placas de microorganismos heterótrofos; de ello se obtuvo una tasa de degradación de 39 % a 41 % por el método D-5831 y por el método de *mechanical agitation and gravimetric determination*.

Buendía (2013), en su tesis sobre la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol, señala que obtuvo como resultados de la dosificación del suelo por hidrocarburos, estiércol y aserrín una disminución en promedio de 22,5 % del contenido de hidrocarburos en el suelo; empleando solo estiércol, este disminuyó 16,5 % y usando solamente aserrines, disminuyó 9,6 %.

Juhasz y Ravendra (2000) publicaron un artículo sobre la biorremediación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH por sus siglas en inglés) que ha dado lugar al aislamiento de numerosos géneros de bacterias, hongos y algas capaces de

degradar los PAH de bajo peso molecular (compuestos que contienen tres o menos anillos de benceno fusionados).

Gouda et al. (2008) publicaron un artículo que se basa en la biorremediación del querosene II en la arcilla. Más del 90 % del querosene fue biodegradado en los procesos de bioaumentación y bioestimulación. Se utilizó urea al 46 % y superfosfato al 15,5 % como fuentes de nitrógeno y fósforo, debido a su bajo costo y su disponibilidad local. En este estudio se utilizaron cepas bacterianas de *Pseudomonas* sp. AP y *Pseudomonas* sp. CK. La otra cepa se identificó como *Gordonia* sp. DM 16S ARNr.

Gutiérrez et al. (2022) llevaron a cabo un estudio sobre la degradación por sustrato residual de *Agaricus bisporus* a nivel microcosmos que se desarrolló en México, en suelos contaminados por hidrocarburos. Dicha investigación tuvo como objetivo determinar la biodegradación de diésel en un suelo agrícola utilizando sustratos residuales (SR) de *Agaricus bisporus*. Se utilizó suelo contaminado con 7039 ppm de diésel con diferentes dosis de SR, incubados por 28 días a 37 °C. Se cuantificó la producción de CO₂, biodegradación de diésel, población inicial y final de hongos, así como actividad enzimática específica de lacasas inicial y final. El tratamiento presentó el mayor porcentaje conseguido hasta ahora de biodegradación de diésel (68,747 %) y una producción acumulativa final de $6,144 \times 10^{-4}$ mmol CO₂/m³.

Díaz-Borrego et al. (2017) estudiaron el tratamiento de aguas contaminadas con diésel del puerto de Isla de Toas (Venezuela) y evaluaron la utilización de un consorcio microbiano autóctono (*Chlorella* spp.) en dos tratamientos (T1: bioestimulado y T2: bioaumentado) y un control por 70 días, a escala de 20 L y condiciones ambientales controladas. Durante los ensayos monitorearon la temperatura, el pH, la demanda química de oxígeno (DQO), nitrito, nitrato, nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno total (N-total), ortofosfato, fósforo total (P-total), hidrocarburos totales del petróleo (HTP), fracciones de hidrocarburos (SARA), densidad microalgal y bacteriana, y pigmentos fotosintéticos, de acuerdo con los métodos estandarizados. Los valores medios para la remoción de materia orgánica (DQO), N-total y P-total, fueron: 23,3±2,3; 35,2±4,5 y 64,6±4,8 %, de 27,6±1,64; 79,8±2,05 y 87,7±1,95 %, y de <0,1; 16,1±0,38 y 44,7±1,18 %, para el control, T1 y T2, respectivamente. Las concentraciones finales de HTP estuvieron por encima del límite permisible de la normativa venezolana para descarga a cuerpos de aguas naturales, no obstante, se obtuvieron altas tasas de remoción de hidrocarburos saturados y aromáticos (>70 %), particularmente en el tratamiento bioaumentado (T2).

Pucci et al. (2015) estudiaron

la biodegradación del hidrocarburo remanente que queda en el sedimento después del lavado con agua y detergente del fondo de tanque. Se realizaron bioreactores a los cuales se los siguió con el sistema OxiTop, consumo de oxígeno, se realizaron recuentos bacterianos y determinación de hidrocarburos por infrarrojo (IR)

y por cromatografía gaseosa (GC). El sedimento proveniente del lavado de fondo de tanque contenía cantidad suficiente de bacterias degradadoras y aerobias totales, con un predominio de los géneros *Pseudomonas* sp y *Rhodococcus* sp que junto a las condiciones de 20 % humedad, oxigenación y nutrientes en una proporción de 100:3:03 redujeron los hidrocarburos de 2,9 a 0,4 %. La degradación se produjo mayoritariamente entre los hidrocarburos alifáticos de cadena entre 13 a 26 átomos de carbono, la fracción aromática presentó baja degradación. (p. 97)

Pojmaevich et al. (2020) realizaron un estudio para "evaluar la capacidad biodegradadora de los microorganismos autóctonos presentes en un suelo de tipo árido contaminado con hidrocarburos totales del petróleo (HTP) de la zona de Catriel Oeste (cuenca neuquina), mediante una técnica de bioestimulación en microcosmos" (párr. 1).

Se utilizaron sistemas microcosmos conteniendo 200 g de suelo, los cuales fueron bioestimulados (BIO) ajustando la proporción de nutrientes (C:N:P 100:10:1). Por otra parte, se realizaron controles comunidad (CC) en microcosmos sin bioestimar. Ambos sistemas se incubaron a 25 °C manteniendo la humedad al 15 % y se mezclaron periódicamente, cada 3 días, con el objeto de airear el suelo. Se tomaron muestras al inicio, a los 28 y a los 42 días, y se determinaron la concentración de HTP, actividad microbiana total (AMT), recuento de bacterias heterótrofas aerobias totales (BHAT) y bacterias degradadoras totales (BDT).

Ambos sistemas evaluados (CC y BIO) mostraron una reducción significativa del contenido de HTP (88 %), la cual estaría relacionada con los incrementos observados en la AMT (4,3 y 3,7 veces para los sistemas CC y BIO, respectivamente), y con el aumento del número de BHAT y BDT (2 órdenes de magnitud en ambos sistemas) (párr. 1-3).

Acuña et al. (2019) estudiaron

la biorremediación de dos residuos de estaciones de servicio de la ciudad de Río Gallegos, Santa Cruz, Argentina por medio de biodegradación. Se realizó la caracterización de la fase oleosa obtenida de efluentes de dos estaciones de servicio y se realizó una biorremediación con microcosmos de los mismos. El seguimiento se realizó con análisis de GC/MS para hidrocarburos y perfiles de ácidos grasos microbianos, como también se realizó un seguimiento de las bacterias degradadoras de hidrocarburos. Los dos residuos mostraron diferente perfil cromatográfico; esto impactó sobre la degradación de los mismos que fue para el residuo 1 de 79,68 % y para el residuo 2 de 29,23 %. (p. 299)

El objetivo del presente estudio es lograr la biodegradación del aceite lubricante usado presente en la arcilla bentonita, la misma que, en su aspecto experimental se realizará tomando como base el modelo matemático de Medina et al. (2009), basado en "la biodegradación en biorreactores de lodos de hidrocarburos totales de petróleo intemperizados en suelos y sedimentos" (p. 245). Este modelo se ha validado con los fenómenos de difusión, sorción y biodegradación en un reactor de lodos de hidrocarburos en arcillas usadas con aceite lubricante usado.

2. METODOLOGÍA

Se ha utilizado un reactor biológico de 5 L proporcionado por el Laboratorio de Microbiología Ambiental y Biotecnología de la Facultad de Biología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Figura 4), construido en acero inoxidable A-304 y acoplado a los siguientes accesorios: agitador mecánico, lector de velocidad del impulsor, sistema de mamparas y distribuidor de aire, compresor metálico con un filtro microbiológico de 0,45 micras para inyectar aire al reactor. El motor para la agitación del impulsor es de ¼ HP de potencia nominal.

El reactor consta de un fondo y sección transversal de vidrio para poder visualizar el producto. Además, el equipo cuenta con entradas de sensores para medir el CO₂, entre otros parámetros, y con un calentador de 1500 W, el cual es controlado con la termocupla conectada al tablero de control (Autonics TC4 Series) del sistema para mantener la temperatura constante.

La medición de los hidrocarburos totales de petróleo se realizó mediante el equipo de Soxhlet de acuerdo a la técnica 3540 (extracción con hexano-acetona mediante Soxhlet) de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés).

Las cuatro pruebas experimentales se realizaron en el biorreactor durante 13, 58, 60 y 20 días para cada experimento, respectivamente. Se decidió detener la primera y cuarta pruebas experimentales por observar una mínima biodegradación. Sin embargo, en la segunda y tercera pruebas experimentales, con la dilución arcilla:agua (1:3), se obtuvieron mejores resultados de biodegradación. En la segunda y tercera pruebas experimentales, por tener mayor dilución en agua, se observó una completa homogenización de la mezcla, provocada por la distribución de las burbujas del aire y el efecto del agitador. Al cultivar microorganismos aerobios, el suministro de oxígeno al medio de cultivo es esencial.

Caracterización del aceite lubricante usado

El aceite lubricante usado es todo aceite que ha sido utilizado y se encuentra contaminado con impurezas físicas o químicas y no reúne las condiciones óptimas para el fin para el cual fue producido inicialmente (NTP 900.050).

Tabla 1

Compuestos presentes en el aceite lubricante usado

Método SARA		
Asfaltenos, % masa	ASTM D4124-09	0,7970
Parafinas, % masa	ASTM D4124-09	25,6292
Aromáticos, % masa	ASTM D4124-09	30,4810
Maltenos, % masa	ASTM D4124-09	2,4189

Caracterización de la arcilla bentonita

La arcilla bentonita que se utilizó en el presente estudio es del tipo cálcica, de origen peruano y presenta las siguientes características:

Tabla 2

Características de la arcilla bentonita

Características	Especificación	Resultados
Acidez residual	-0,80	0,64 %
Humedad	-18	15,6 %
Malla +230	-50	26 %
pH al 10 %	3-4	3
Densidad aparente (g/cc)	400-500	492

Identificación de los componentes del consorcio

Las cepas a utilizar son: *Rodhococcus*, *Pseudomonas* y *Bacillus*.

Características del consorcio liofilizado

Rhodococcus pyridinivorans

Figura 1

Bacteria Rhodococcus pyridinivorans



Las colonias presentaron un diámetro de 0,4 cm pasadas las 24 horas.

Pseudomonas montiilli

Figura 2

Bacteria Pseudomonas montiilli



Las colonias de *Pseudomonas montiilli* son circulares de 0,25 cm de diámetro pasadas las 24 horas.

Bacillus licheniformis

Figura 3

Bacteria Bacillus licheniformis



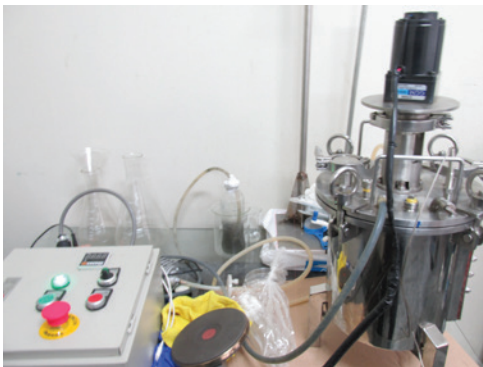
Las colonias de esta bacteria son irregulares y miden 0,6 cm de diámetro pasadas las 24 horas.

Evaluación de la actividad degradativa del consorcio en la arcilla bentonita contaminada con aceite lubricante usado

- Primero se instaló el reactor con 2 Kg. de arcilla bentonita usada, luego se agregó 2 L de agua con solución de soda cáustica a pH de 7 y medio de cultivo de microorganismos, en el cual la solución presentó pH neutro.
- Todos los días se retiró una muestra para medir el crecimiento microbiano y los hidrocarburos totales de petróleo, este tratamiento se realizó durante 58 días.

Figura 4

Reactor biológico de 5 L en acero inoxidable



3. RESULTADOS

Todo el proceso se realizó a pH neutro, con una temperatura aproximada de 35 °C, una oscilación de 120 rpm y con sistema de aireación continua. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 3

Lectura del porcentaje de degradación máximo de HTP (%)

Relación de dilución arcilla:agua	Concentración inicial del consorcio bacteriano	Porcentaje de degradación máxima de HTP (%)
1:1 (primera corrida)	10 %	1,80
1:3 (segunda corrida)	10 %	49,79
1:3 (tercera corrida)	20 %	57,69
1:1 (cuarta corrida)	20 %	8,81

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

- Se ha comprobado que el consorcio oil eating microbes (OEM) está conformado por tres bacterias efectivas que trabajan conjuntamente en el proceso de biodegradación de hidrocarburos totales de petróleo, las cuales son las siguientes: *Pseudomonas monteilii*, *Rhodococcus pyridinivorans* y *Bacillus licheniformis*.
- Se concluye que la dilución en relación arcilla:agua (1:3) influye en el proceso de biodegradación de aceite lubricante usado en arcilla bentonita.
- El rendimiento de biodegradación del aceite lubricante usado presente en la arcilla bentonita es de 57 % de biodegradación de HTP en 60 días calendarios, con la concentración inicial del consorcio bacteriano de 20 %.
- La concentración inicial de bacterias no influye en gran medida en el rendimiento de biodegradación del aceite lubricante usado presente en la arcilla bentonita.
- Se recomienda continuar con la investigación para otras relaciones de diluciones en el proceso de biodegradación del aceite residual de petróleo en la arcilla bentonita para mejorar la eficiencia del proceso de biorremediación y recuperación de un recurso no renovable como la arcilla bentonita.
- Se recomienda realizar las pruebas experimentales en equipos automatizados para obtener una medición continua y más precisa de las variables evaluadas durante el proceso de biodegradación.

REFERENCIAS

- Acuña, A., Cambarieri, L., & Pucci, G. (2019). Biodegradación de dos residuos de gasolineras en Río Gallegos – Argentina. *Acta Biológica Colombiana*, 25(3), 299-309. <https://doi.org/10.15446/abc.v25n3.77690>.
- Buendía, H. (2013). *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante aserrín y estiércol* [Tesis de maestría]. Cybertesis-Repositorio de Tesis Digitales. Universidad Nacional Mayor de San Marcos <https://hdl.handle.net/20.500.12672/2290>.
- Carrasquero, S. J., Montiel Flores, S., Faría Perche, E. D., Parra Ferrer, P. M., Marin Leal, J. C., & Díaz Montiel, A. R. (2017). Eficacia de los coagulantes obtenidos a partir de residuos de patata (*Sonatum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación del agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 13(2), 90-99. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1941>.
- Díaz-Borrego, L. C., Marín Leal, J. C., Alburgue Díaz, D. A., Carrasquero Ferrer, S. J., & Morales Avendaño, E. D. (2017). Consorcio microbiano autóctono para el tratamiento de aguas contaminadas con gasoil del puerto de Isla de Toas (Venezuela). *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 28(2), 5-28. <https://doi.org/10.18359/rcin.2792>
- Duque, E., & Escobar, C. (2002). *Mecánica de los suelos*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3375>
- Eriksson, P. & Weisner, S. (1999). An experimental study on effects of submersed macrophytes on nitrification and denitrification in ammonium-rich aquatic systems. *Limnology and Oceanography*, 44(8), 1993-1999. <https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.4319/lo.1999.44.8.1993>
- Gouda, M., Omar, S., Nour, H., & Chekroud, Z. (2008). Bioremediation of kerosene II: a case study in contaminated clay (Laboratory and field: scale microcosms). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24, 1451-1460. <https://doi.org/10.1007/s11274-007-9634-x>
- Gutiérrez, M., Jiménez, T., Tapia, A. and Romero, O. (2022). Degradación de diésel por sustrato residual de *Agaricus bisporus* a nivel microcosmos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(2), 223-234. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i2.2656>.
- Haritash, A. & Kaushik, C. (2009). Biodegradation aspects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): A review. *Journal of Hazardous Materials*, 169(1-3), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.137>
- Instituto Nacional de Calidad. (2022). *Norma técnica peruana 900.050:2022. Gestión de residuos. Manejo de aceites usados. Generalidades* (3.ª ed.). <https://servicios.inacal.gob.pe/cidalerta/biblioteca-detalle.aspx?id=34941>

- Juhasz, A. L., & Ravendra, N. (2000). Bioremediation of high molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons: a review of the microbial degradation of benzo[a]pyrene. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 45(1-2), 57-88. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(00\)00052-4](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(00)00052-4)
- Mac Naughton, S., Stephen, J., Venosa, A., Gregory, D., Chang, Y., & White D. (1999). Microbial population changes during bioremediation of an experimental oil spill. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(8), 3566-3574. <https://doi.org/10.1128/AEM.65.8.3566-3574.1999>
- Medina, S., Huerta, S., Lucho, C., Aguilera, L., Jiménez, A., & Gutiérrez, M. (2009). Modelado de la biodegradación en biorreactores de lodos de hidrocarburos totales del petróleo intemperizados en suelos y sedimentos. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 8(3):245-258.
- Pojmaevich, A., Busto, V., & Camacho, A. G. (2020). Evaluación de un proceso de bioestimulación aplicado a suelos áridos contaminados con hidrocarburos del petróleo. *AJEA*, (5). <https://doi.org/10.33414/ajea.5.730.2020>
- Prince, R. C. (2005). The Microbiology of Marine Oil Spill Bioremediation. En B. Ollivier & M. Magot (Eds.) *Petroleum microbiology* (p. 317-336). American Society for Microbiology Press.
- Pucci, G., Acuña, A., and Pucci, O. (2015). Biodegradación de hidrocarburos en fondos de tanques de la industria petrolera. *Revista Peruana de Biología*, 22(1), 97-101. <https://doi.org/10.15381/rpb.v22i1.11126>.
- Rahman, K., Banat, I., Thahira, J., Thayumanavan, T., & Lakshmanaperumalsamy, P. (2002). Bioremediation of gasoline contaminated soil by a bacterial consortium amended with poultry litter, coir pith and rhamnolipid biosurfactant. *Bioresource Technology*, 81(1), 25-32. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00105-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00105-5)
- Ríos Rodríguez, R. (2007). *Diseño de un sistema de reciclaje de aceite lubricante usado* [Tesis de licenciatura]. Universidad Austral de Chile. https://www.academia.edu/28625079/DISE%C3%91O_DE_UN_SISTEMA_DE_RECICLAJE_DE_ACEITE_LUBRICANTE_USADO
- Rittman, B. (1994). *In situ bioremediation* (2ª ed.). Noyes Publication.
- Rivera, L. (2015). *Microbiología: interiorización del conocimiento de forma significativa y comprensiva*. Universidad Técnica de Machala.
- Rosenberg, E., Legmann, R., Kushmaro, A., Taube, R., Adler, E., & Ron, E. Z. (1992). Petroleum bioremediation— a multiphase problem. *Biodegradation*, 3, 337-350.
- Souza, P. (1975). *Tecnología de argilas*. Universidad de Sao Paulo.

- Tuesta, E., Vivas, M., Sun, R. & Gutarra, A. (2005). Modificación química de arcillas y su aplicación en la retención de colorante. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 71(1), 26-36.
- Vallejo V., Salgado L., & Roldan F. (2005). Evaluación de la bioestimulación en la biodegradación de TPHs en suelos contaminados con petróleo. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 11(2), 67-78.

INFLUENCIA DE LA POSICIÓN DEL SENSOR MQ-6 Y EL TIEMPO TRANSCURRIDO EN LA DETECCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE GLP EN UNA FUGA DOMÉSTICA

ALEJANDRO BUENO VERA*

<https://orcid.org/0000-0001-7866-1798>

GIANFRANCO LUIS ORTIZ

<https://orcid.org/0000-0001-7508-1958>

JOSÉ ANTONIO TAQUÍA GUTIÉRREZ

<https://orcid.org/0000-0002-1711-6603>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Lima, Perú

Recibido: 21 de junio del 2022 / Aceptado: 15 de julio del 2022

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n43.6112>

RESUMEN. Las fugas de gas en Lima e Ica (Perú) aumentan cada año, provocando accidentes y daños irreparables para la población. En esta investigación se produjo una fuga controlada usando una cocina de dos hornillas y un arreglo de sensores MQ-6 dispuestos en distintos ángulos con respecto a la cocina (45°, 0° y 30 °). Se encontró que, si la cocina se ubica en la posición alta (87 cm), la concentración detectada es menor, pero la detección es más rápida (6,419 s) si el arreglo se ubica a 50 cm del origen de la fuga. El tiempo de detección se encuentra entre 13,515 s y 21,740 s y la máxima concentración detectada es de 98 ppm. El modelo de aprendizaje que mejor se adaptó es Support Vector Machine, con un RMSE de 4,61 ppm. Se concluye que la mejor posición para la detección de gas fue a una altura de 47 cm sobre el suelo, a una distancia de 50 cm del sensor y a un ángulo de 0°. El tiempo de detección es de 13,84 s. Por último, se concluye que 30 segundos de fuga no son suficientes para alcanzar el límite dañino (147 ppm).

PALABRAS CLAVE: Arduino / Matlab / machine learning / MQ-6 / GLP / detección de gas

* Correos electrónicos en orden de aparición: 20161845@aloe.ulima.edu.pe; 20162216@aloe.ulima.edu.pe; jtaquia@ulima.edu.pe

INFLUENCE OF POSITION OF MQ-6 SENSOR AND ELAPSED TIME ON THE CONCENTRATION DETECTION OF LPG IN A DOMESTIC LEAK

ABSTRACT. Gas leaks in Lima and Ica (Peru) increase every year, causing accidents and irreparable damage to the population. In this article, a controlled leak was produced using a two-burner kitchen and an array of MQ-6 sensors positioned at different angles (45° , 0° and 30°) with respect to the kitchen. The results show that, if the kitchen is in a high position (87 cm), the detected concentration is lower, but the detection is faster (6,419 s) if the arrangement is located 50 cm from the origin of the leak. The detection time is between 13,515 s and 21,740 s and the maximum concentration detected is 98 ppm. The best adapted learning model is Support Vector Machine, with an RMSE of 4,61 ppm. It is concluded that the best position for gas detection was at a height of 47 cm above the ground, at 50 cm from the sensor and at an angle of 0° . The detection time is 13,84 s. Finally, it is concluded that 30 seconds of leakage are not enough to reach the harmful limit (147 ppm).

KEYWORDS: Arduino / Matlab / machine learning / MQ-6 / LPG / gas detection

1. INTRODUCCIÓN

El gas licuado de petróleo (GLP) es el combustible que más se usa en las cocinas en los hogares peruanos (57,7 % del total de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017). Durante el 2020, se registró la mayor cantidad de fugas de gas en los últimos siete años (Intendencia Nacional de Bomberos del Perú, 2019). El número de emergencias detectadas ha sido 7248, mientras que el promedio histórico es de 3452. Según el rombo de seguridad para GLP, existe un riesgo de inflamabilidad de valor 4, el cual indica que todos los implementos utilizados en el almacenamiento y comercialización del gas deberían utilizar materiales resistentes al fuego (Limagas, 2018). Esto demuestra lo peligrosa que puede ser la mala manipulación del GLP. También es necesario conocer que la máxima concentración recomendada para un ambiente cerrado es de 350 mg/m³, que, al convertirlos a ppm, resulta en 147,679 ppm.

Se dispone de distintas categorías de sensores para cada gas que se desea detectar: MQ-2 para metano, MQ-3 para alcohol, MQ-5 para gas natural, MQ-6 para GLP, etc. Nasution et al. (2019) elaboraron un sistema de cerrado automático para un regulador de presión de balones de gas usando un sensor MQ-2, un servomotor y el microcontrolador Arduino UNO. Realizaron diez corridas de un experimento para medir el tiempo de acción del servomotor para cerrar el flujo de gas en caso de fuga, con un tiempo promedio de cerrado de 1,796 segundos. En el mismo año, Fatkiyah et al. (2019) realizaron una investigación que buscaba detectar fugas reales con la misma gama de sensores, pero adicionan el envío de un SMS al teléfono del usuario en caso de detección. Concluyeron que sus diseños funcionan mejor en ambientes cerrados. Otro grupo de investigadores, Debnath et al. (2020), consiguió el mismo objetivo, pero con dispositivos de bajo costo. Otros, como Budianto et al. (2020), se centraron en la elaboración de un robot móvil que carga los sensores para detectar la distancia a la que se producen las fugas, obteniendo 8,7 cm en promedio.

Höfner et al. (2021) han realizado simulaciones en una cámara cerrada que impide la salida de gases como medida de seguridad, con el objetivo de obtener datos para predecir la concentración de etanol. Mallik et al. (2020), por su parte, utilizaron como herramienta principal el software Matlab para obtener la concentración de gas por medio de un sensor MQ-6 y transmitirla a un usuario, experimento en el cual obtuvieron 99 % de eficiencia. Por último, Mensch et al. (2021) proveen información acerca del comportamiento de sensores de hidrocarburos volátiles. En una línea similar a la de estas investigaciones, el presente estudio tiene como objetivo conocer la influencia de la posición del sensor MQ-6 y el tiempo de fuga transcurrido en la detección de concentración de GLP, con el objetivo de aumentar la evidencia sobre la cinética de gases e impulsar el desarrollo de dispositivos de seguridad para edificaciones que usen dicho combustible.

En las investigaciones de Rumantri et al. (2018) y de Ajiboye et al. (2021), se tuvo que convertir la lectura del sensor MQ-6 en concentración y resistencia, respectivamente. El

procedimiento consiste en tomar las fórmulas y gráficos brindados por la ficha técnica del sensor y plantear una ecuación de transformación de variables con la cual se obtenga la concentración de gas de GLP.

Suparman y Jong (2019) buscaban un modo de notificar a un usuario cuando hay detección de humo, mediante sensores y un microcontrolador. Para ello, diseñaron una caja de dimensiones pequeñas en SolidWorks, la imprimieron en 3D y realizaron el experimento dentro de ella. Por otro lado, Rachman (2019) también construyeron una caja para reproducir la detección de humos de incendios con distintos sensores y comparar las lecturas de Arduino y Matlab usando algoritmos de lógica difusa. Luego, Singla et al. (2017) elaboraron una caja de madera, en la cual colocaron los sensores MQ-2 y MQ-6 conectados a una placa Arduino y, mediante una laptop, visualizaron la detección del gas en base a una fuga controlada con un balón de GLP. Finalmente, Supriyono et al. (2020) diseñaron un sistema de detección de CO, CO₂ así como de hidrocarburos producidos en la combustión en motores de automóviles, el cual estaba formado por una caja de dimensiones pequeñas donde, mediante tubos, se hacían ingresar los gases del escape del auto. En dicha caja se encontraba un arreglo de sensores que enviaba las mediciones a un microcontrolador.

Con respecto al análisis de datos, en este tipo de artículos se encontró, además del cálculo de valores promedio de tiempo y concentración, un uso frecuente de distintos algoritmos de machine learning, al igual que la comparación de los indicadores de eficiencia entre los modelos.

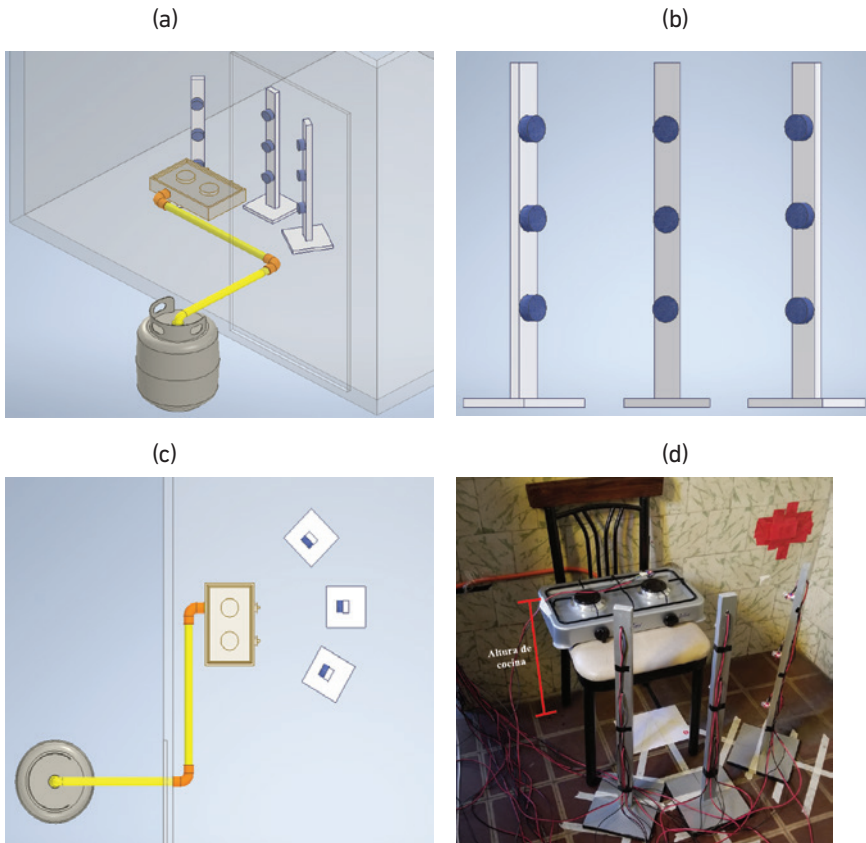
Cho, J. (2020) y Meris et al. (2020) buscan detectar fugas de gas usando sensores MQ y asociar las variables de investigación entrenando algoritmos con los datos obtenidos. En el primero, se compara la eficiencia entre los modelos possibilistic fuzzy C-means (PFCM), linear support vector machine (SVM), multilayer neural network (MNN), entre otros; el mejor desempeño se obtuvo al usar SVM. En el segundo, se compararon los distintos parámetros del SVM —como lineal, cuadrático, cúbico, etcétera.—; el mayor puntaje lo obtuvo el modelo lineal. También se usó este método en el proyecto realizado por Kamal (2020) para el conteo de personas en una habitación usando sensores de ultrasonido, humedad y temperatura y comparando entre algoritmos de MNN, Random Forest y Naive Bayes. Estos tres obtuvieron las mejores puntuaciones y el algoritmo MNN obtuvo los mejores resultados. De igual manera Zhao et al. (2021) realizaron este tipo de investigaciones sobre la base de la localización de fugas de hidrógeno en un estacionamiento, usando k dynamic time warping (K-DTW), con 87,5 % de precisión, para distintos escenarios. Finalmente cabe resaltar que Raja Kumar et al. (2019) se centraron en la detección de gases contaminantes usando artificial neural network (ANN), SVM y Naive Bayes; como valores redondeados de precisión obtuvieron 89 %, 84 % y 83 %, respectivamente.

2. METODOLOGÍA

Se diseñó un sistema de medición de concentración de GLP usando sensores MQ-6 y el microcontrolador Arduino Mega, que detecta, procesa y mide la concentración del gas en función al tiempo transcurrido de una fuga. Las lecturas fueron realizadas por un arreglo cóncavo de 9 sensores, cada uno ubicado intencionalmente a cierta distancia (d_n) y ángulo (θ_n) de la fuga (Figura 1c), emitida desde un balón de GLP de 10 kg, un regulador de presión de 28 mbar y la hornilla de una pequeña cocina, ubicada en dos posiciones: a 87 y 43 cm del piso (cocina alta y baja). Los sensores se posicionaron a diferentes alturas (h_n) con respecto al piso (Figura 1b). El gas fue dirigido a la habitación donde se encontraba el arreglo (Figura 1a), la cual fue ventilada con un extractor de aire posicionado en una ventana, y se encendió al final de cada corrida de la recreación. Se usó una habitación de 10 m². La tolerancia de las mediciones de distancia es de 1 cm y el flujo de gas se mantuvo durante 30 segundos por motivos de seguridad. El montaje de la habitación final se aprecia en la Figura 1d.

Figura 1

Habitación para la fuga (a, b y c) y montaje final (d)



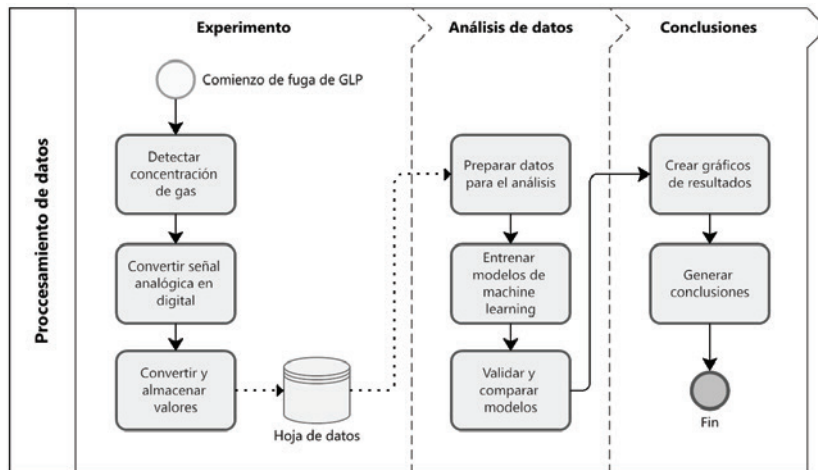
En base a la clasificación de Hernández et al. (2017), esta investigación tiene un enfoque cuantitativo y un método experimental con diseño factorial. Se busca verificar cuánto influyen las variables de posición y tiempo en la detección de concentración de GLP, por lo que se realizaron manipulaciones después de cada toma de datos: variación de la distancia del arreglo con respecto al origen de la fuga de gas y de la altura de la cocina con respecto al suelo.

Existen 54 configuraciones para las variables independientes (Tabla 1) excluyendo el tiempo. Se usaron nueve sensores que cubren los tres valores de altura y ángulo, lo que dejó solo seis configuraciones dadas por las variaciones de distancia y altura de cocina. La altura y distancia de los sensores se tomaron de las investigaciones de Fatkiyah et al. (2019) y Budianto et al. (2020), para brindarle mayor credibilidad al proyecto, y los ángulos fueron propuestos por motivos experimentales. Se realizaron cinco corridas por cada configuración.

Tabla 1
Variables de investigación

Clasificación	Variable	Tipo	Rango y unidad
Independientes	Altura de cocina	Númérica	43 cm y 87 cm
	Distancia (dn)	Númérica	40 cm, 50 cm y 60 cm
	Altura (hn)	Númérica	22 cm, 42 cm y 62 cm
	Ángulo (θ_n)	Númérica	45°, 0° y 30°
	Tiempo (t)	Númérica	0 s - 30 s
Dependiente	Concentración (C)	Númérica	10 ppm - 147 ppm

Figura 2
Proceso experimental



Curado

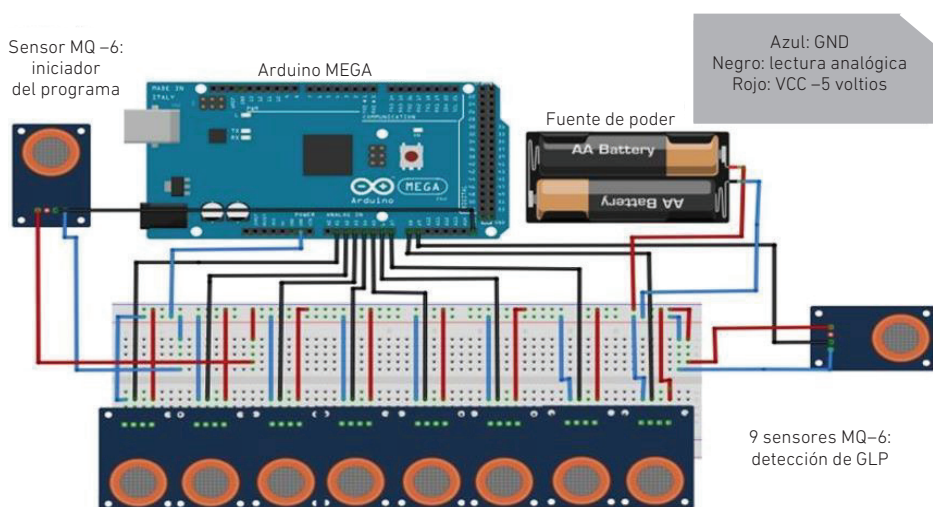
El curado del sensor es un procedimiento previo a todas las pruebas que deben realizarse, ya que asegura una correcta medición de la concentración de gas. Adekitan et al. (2019) mencionan cómo debe ser la manipulación en los sensores MQ en base a su ficha técnica. Estos se deben mantener encendidos (conectados a una alimentación de 5 voltios) durante, por lo menos, 24 horas, como está indicado en la ficha técnica (Hanwei Sensors, 2019). Si bien los sensores MQ-6 detectan desde 200 ppm hasta 10 000 ppm según la hoja de datos, cuando estos son sometidos, tanto a pequeñas como a grandes cantidades de gas, son inestables. Para eliminar esta inestabilidad se debe curar el sensor por más de un día y luego de dejarlo reposar, se debe de pasar por un proceso de saturación, el cual permite obtener tanto la constante R_0 como una medición más estable y que las mediciones comiencen desde 0 ppm. Una vez terminado el proceso, el sensor estará listo para medir tan solo unos cuantos segundos después de encenderlo la próxima vez. Para esta investigación, el curado se desarrolló por 46 horas para todos los sensores.

Calibración

La medición de datos se realizó de forma primaria con el sensor MQ-6 y estos fueron transformados a los valores de concentración buscados. En la Figura 3 se puede observar los componentes usados. Se usa un sensor de referencia (iniciador del programa), ubicado junto al origen de la fuga, para medir el tiempo desde que dicho sensor detecta gas, hasta que se cumplen 30 segundos.

Figura 3

Circuito diseñado para calibración y medición



El *software* Arduino detecta valores de 0 a 1023 de manera automática. Estos valores fueron transformados a voltaje usando la ecuación 1, donde L es la lectura analógica del puerto serial y V el voltaje. Sin embargo, para calibrar el sensor MQ-6 fue necesario encontrar el máximo valor de V que el sensor adquirido era capaz de proporcionar. Esto se logró sometiendo el sensor a la mayor cantidad de gas posible, usando el gas contenido en encendedores. En base a dicho voltaje, se halla R_0 usando la ecuación 2. Una vez que se obtiene un valor consistente de R_0 , se considera que el sensor está calibrado y listo para medir. Para la elección de las ecuaciones fue necesario contar con investigaciones como la de Ramírez (2016) y Benavides (2020) que utilizan métodos de calibración correctamente sustentados. Se probaron otros métodos de calibración, pero dieron resultados desorbitados y poco estables.

$$V = \frac{5L}{1023} \quad (1)$$

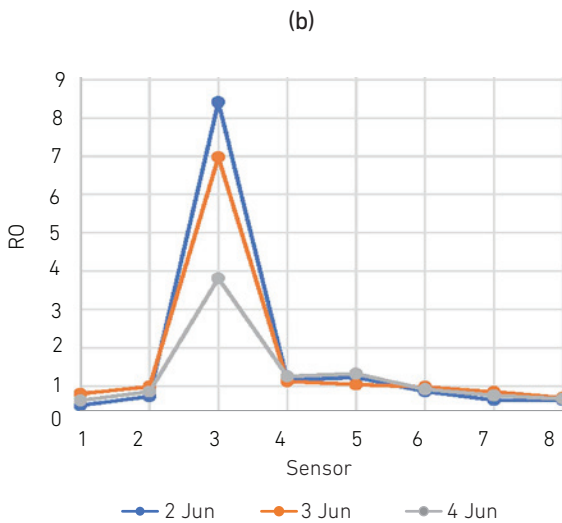
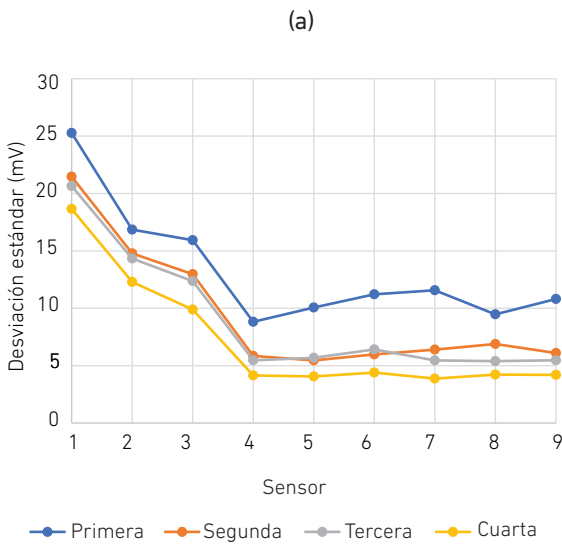
$$= \left(\frac{5}{V_{\max} - 1} \right) \frac{1}{0.12} \quad (2)$$

Para la selección de los sensores se usaron dos criterios: estabilidad y valor mínimo.

El objetivo fue tener valores de R_0 similares en distintos días, para evitar fluctuaciones en el almacenamiento de datos, pero también valores pequeños, ya que representan voltajes de salida más altos y, por lo tanto, mayor rango de lectura. Se compraron dos lotes de sensores en distintas fechas (doce sensores en mayo y ocho en junio) y proveedores y se realizaron pruebas usando GLP de encendedores durante 30 segundos en 3 días distintos para cada lote. Ello para asegurar que los MQ-6 produjeran valores estables. Del primer lote, se seleccionaron los sensores 9, 10, 11 y 12 (Figura 4a). Del segundo, los sensores 1, 2, 6, 7 y 8 (Figura 4b). De esta forma quedaron seleccionados los nueve sensores más aptos.

Figura 4

Estabilidad de primer (a) y segundo (b) lote

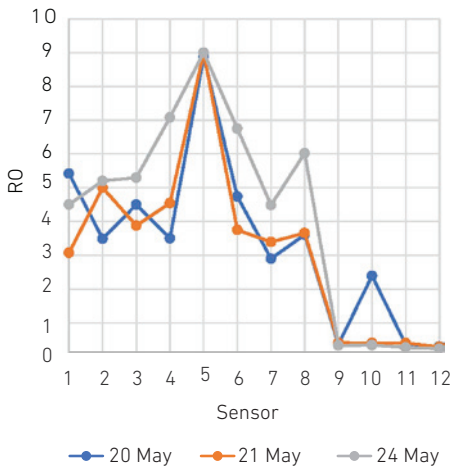


Para la alimentación de los sensores se probaron distintas fuentes de energía, ya que la primera que se empezó a usar (una fuente económica y no regulada) producía ruido notablemente mayor que el producido por la placa Arduino. En primera instancia (Figura 5), se usó la fuente económica con un estabilizador de voltaje, en segunda, la

fuelle sola, en tercera, nuevamente, la fuente económica con el estabilizador y, por último, una fuente regulada para computadora. Para la medición se usó la fuente de computadora, por tener la menor desviación.

Figura 5

Variación de señal con distintas fuentes de alimentación



Para poder medir la concentración de GLP en función a la señal analógica, según la investigación realizada por Pajares y Alcantar (2020), se realizó una regresión potencial usando los datos del gráfico de las especificaciones del fabricante y se obtuvo un valor de R^2 de 0,995. La ecuación resultante es la 4. El programa en Matlab procesa la señal L usando, en orden, las ecuaciones 1, 3 y 4, donde R_0 es la constante hallada en la sección anterior.

$$R_s = \frac{5}{V} - 1 \tag{3}$$

$$C = 1108,48 \left(\frac{R_s}{R_0} \right)^{-2,28} \tag{4}$$

Para una mejor visualización de la medición, se programó en Matlab la representación gráfica en tiempo real de la concentración de dos sensores distintos de prueba, con el objetivo de asegurar que el proceso se estuviera llevando a cabo correctamente. Este *software* también fue usado para obtener los datos desde el puerto serial y almacenarlos en una matriz durante cada corrida. La habitación estaba correctamente asegurada y sellada al realizar las corridas experimentales.

3. RESULTADOS

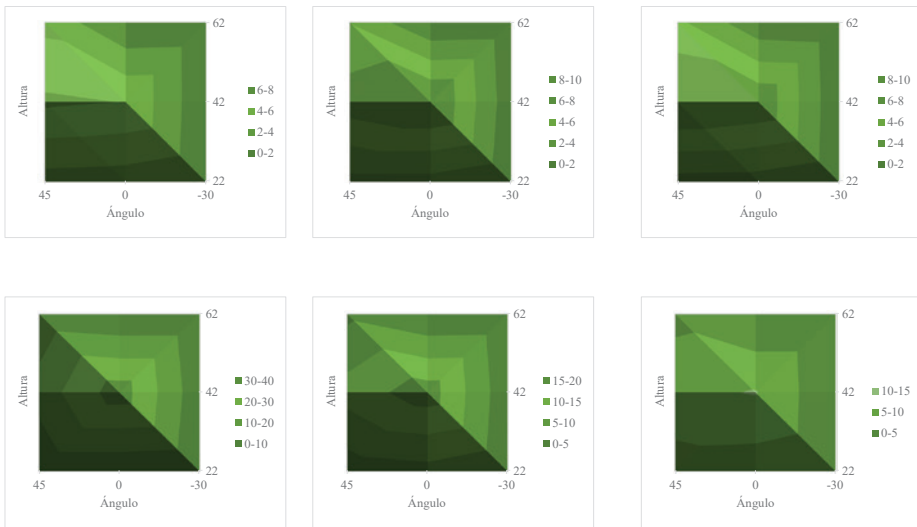
Posición del sensor

Los gráficos de la Figura 6 tienen como eje horizontal las tres categorías de grados ($^{\circ}$) y como vertical, las de alturas (cm). El color y sus leyendas indican la concentración promedio (6a) y máxima (6b) detectadas. En la Figura 6a, cuando la cocina se ubica en la posición alta, hay un mayor promedio de concentración en el sensor a 45° y 42 cm del suelo, y a 40 cm y 60 cm de distancia de la hornilla; mientras que, al ubicar el arreglo a 50 cm, se detectó mayor concentración en el sensor a 0° y 42 cm. Por otro lado, al ubicar la cocina en la posición baja, la detección se concentra en el sensor del centro (0° y 42 cm) y da un mayor promedio en las tres distancias propuestas.

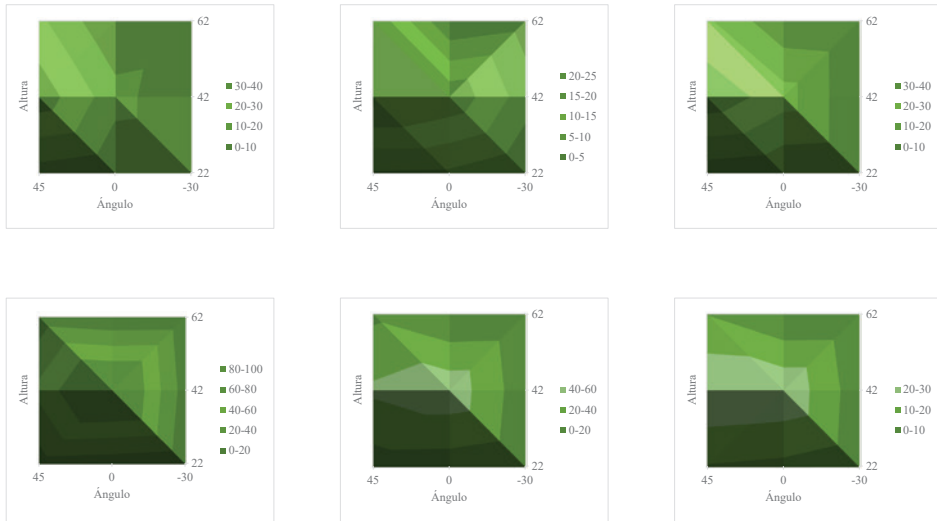
Figura 6

Promedio y máximo de concentración por ubicación del sensor

(a)



(b)

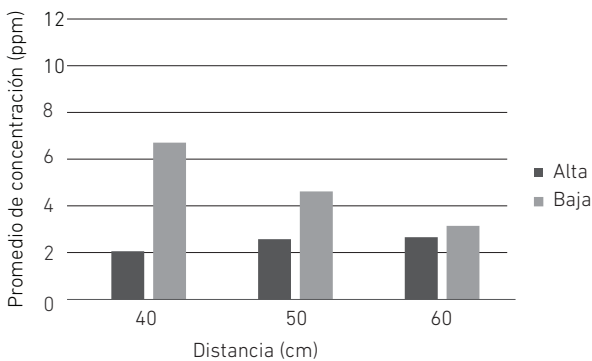


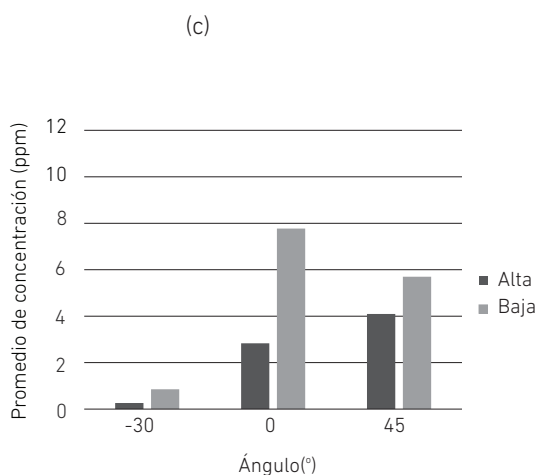
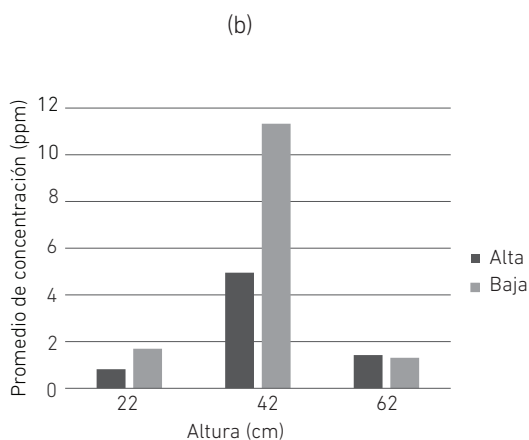
En la Figura 6b, las concentraciones máximas fueron registradas en la posición de cocina alta, a 45° y 42 cm del suelo en todas las distancias de la hornilla. En la posición baja, la detección máxima se ubica a 0° y 42 cm del suelo en las tres distancias, excepto a 60 cm de la hornilla, donde se registra un valor ligeramente mayor a 45° y 42 cm del suelo.

Figura 7

Comparación de concentración por altura de cocina

(a)





En la Figura 7a se nota que, a mayor distancia, usando la cocina alta, la concentración es ligeramente mayor, con una diferencia menor a 1 ppm. Usando la cocina baja, la concentración decrece. En la Figura 7b, tanto usando la cocina alta como baja, la concentración es mayor a la altura de 42 cm del suelo. Finalmente, en la Figura 7c, se puede observar que, usando la cocina baja, existe mayor concentración en los sensores de en medio (0°); mientras que, con la cocina alta, se detectó mayor concentración en los sensores a 45°.

Tiempo transcurrido

Se calculó el valor de concentración máxima leída (Max C) para cada una de las 54 configuraciones posibles y se emparejó con el tiempo transcurrido de fuga hasta la detección

(T). De estos, se seleccionaron los registros con Max C mayor a 10 ppm (Tabla 2) para filtrar resultados producidos por ruido. La altura más usual es 42 cm. El ángulo más usual es de 45°. La distancia más usual es de 50 cm.

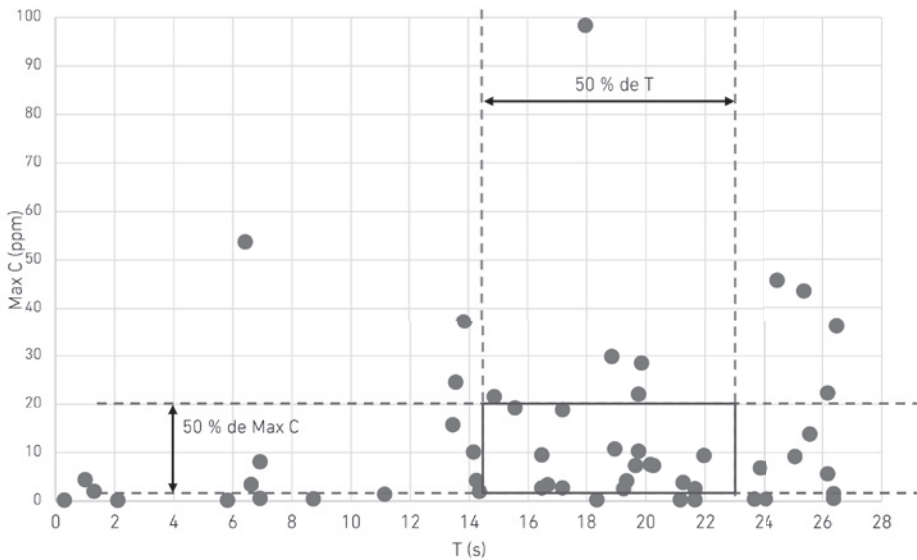
Tabla 2

Menor tiempo de detección

Cocina	Altura (cm)	Ángulo (°)	Distancia (cm)	Max C (ppm)	T (s)
Baja	42	0	50	53,736	6,419
Baja	62	45	50	15,754	13,440
Alta	42	0	60	24,551	13,540
Alta	42	45	60	37,211	13,841
Baja	22	45	50	10,115	14,142
Alta	62	45	60	21,556	14,844
Alta	62	45	50	19,249	15,546
Alta	42	0	50	18,860	17,151
Baja	42	0	40	98,349	17,953
Baja	42	45	60	29,859	18,856

Figura 8

Dispersión entre T y Max C



Al elaborar un gráfico de dispersión entre la variable T y Max C (excluyendo efectos de las variables de posición), se calcularon los cuartiles 1 y 3 de ambas variables para conocer dónde se encontraba el 50 % de los valores centrales. Se calculó que dicho porcentaje central de detecciones se encuentra entre 13,515 y 21,740 segundos, registrando concentraciones entre 1,870 y 18,957 ppm.

Con respecto al modelamiento, incluyendo el tiempo y la posición, se aplicaron modelos de machine learning utilizando Random Forest, SVM y XG Boost (XGB). Se usó como variable respuesta, como se había propuesto, la concentración de GLP. En los resultados se aprecia que el SVM (support vector machine) tiene el menor valor de RMSE (root mean square error), que es la métrica para ver la diferencia numérica entre los valores de la predicción (f_i) y los observados (o_i) en el experimento (ver ecuación 5). El resumen de la métrica para la concentración para los algoritmos utilizados se muestra en la Tabla 3. Se usaron 200 árboles para el algoritmo Random Forest.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (f_i - o_i)^2} \quad (5)$$

Tabla 3

Comparación de modelos de machine learning

Modelo	RMSE (ppm)
Random Forest	15,32
SVM	4,61
XGB	5,59

4. DISCUSIÓN

Es importante recalcar la importancia de la fuente de alimentación para sensores tan sensibles como los de la gama MQ, al igual que su procedencia. Se seleccionó la fuente regulada de computadora por tener la menor variabilidad de ruido.

Al tener una densidad mayor que la del aire, se debería detectar mayor concentración de gas a alturas bajas. En la recreación se esperaba tener una mayor lectura a 22 cm, sin embargo, en la Figura 7b, a la altura de 42 cm se observa mayor concentración. Esto puede deberse al tiempo de duración de la fuga. El gas necesita más tiempo para asentarse y, al limitar la recreación a 30 s, este evento ocurre. El valor máximo de la Figura 6b, en cocina baja y distancia de 40 cm es de 98 ppm, valor similar al obtenido por Fatkiyah et al. (2019) al realizar la misma prueba y obtener 93 ppm. Por otro lado, en la Figura 7a, para la cocina alta, se nota una diferencia de concentración entre las

tres distancias, no obstante, al ser una diferencia menor a 1 ppm, se puede considerar negligible para concluir si la detección es mejor si el arreglo se ubica más cerca o más lejos de la fuga. Según dicho resultado, es indiferente ubicar el arreglo a 40, 50 o 60 cm.

En la recreación, al usar la cocina alta, se detectó mayor concentración en los sensores ubicados a 45°. Para explicar esto, existe la posibilidad de que la hornilla usada emita mayor cantidad de gas hacia esa dirección que a -30°. Sin embargo, la diferencia es mínima, ya que este evento solo ocurrió con la cocina alta, cuando el origen de la fuga estaba más lejos de los sensores y el gas tenía más tiempo para expandirse hacia los sensores a 45°.

Los resultados de la Tabla 2 indican que la mejor posición para obtener una detección rápida es usando la cocina baja, a 42 cm de altura, 0° de ángulo y 50 cm de distancia. Esto significa que al ubicar el arreglo a 40 cm no se obtuvo una detección más rápida, a pesar de la cercanía al origen de la fuga. La mayoría de los resultados de la Tabla 2 ocurren a distancias de 50 cm, apoyando esta idea. Se cree que este evento ocurrió por la desaceleración del gas a medida que se aleja del origen. El gas pudo no ser bien detectado a 40 cm de la fuga por tener una velocidad alta, mientras que, al llegar a los 50 cm, su velocidad bajó debido a la fricción con el aire y pudo concentrarse a dicha distancia.

Con respecto a los resultados de machine learning, 4,61 ppm de RMSE va en consonancia con los indicadores de Meris et al. (2020) al presentar un mejor ajuste usando el modelo lineal de SVM, al igual que esta investigación; y de Cho (2020), al sostener que el mismo algoritmo fue el que mejor se desempeñó. Según Hinestroza (2018) y Dey (2016), el *machine learning* es una herramienta que busca mejorar el análisis de datos en pro de una predicción futura, ya sea por la implementación de nuevos sistemas o el mejoramiento de los ya existentes. De nuestra experimentación y modelamiento con SVM se puede predecir, con las condiciones descritas, un nivel de concentración de gas en el ambiente cerrado. Del análisis realizado con el método de importancia de la librería Rminer (2021) se obtuvo que las dos variables más relevantes en el análisis SVM para hacer la regresión de la concentración fueron la altura y el ángulo de los sensores.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La presente investigación busca conocer la influencia de la posición y el tiempo en la detección de GLP. Como se esperaba, la cocina ubicada más cerca al suelo produce una mejor detección promedio del gas en todas las distancias probadas, a 42 cm de altura y 0°. Por otro lado, la detección significativa y más rápida se dio en la misma altura y ángulo, pero a 50 cm de distancia. Finalmente, se encontró que el tiempo de detección se encuentra entre 13,515 s y 21,740 s para concentraciones entre 1,870 ppm y 18,957 ppm.

Los resultados prueban que 30 segundos no fueron suficientes para la detección de concentraciones mayores a los 147 ppm, consideradas peligrosas en la literatura, a

estas distancias. La máxima concentración detectada fue de 98 ppm en la ubicación más cercana a la fuga.

En las pruebas de modelamiento con algoritmos de *machine learning* se pudo comparar modelos con Random Forest, XGB y SVM, y se concluyó que esta última es la que menor RMSE obtuvo con un valor de 4,61 ppm.

La fuente de energía para el uso de un arreglo grande de sensores MQ-6 debe ser regulada y estable para poder evitar fluctuaciones en la lectura y, por ende, almacenamiento de resultados. Sin una comparación de fuentes, como la que se hizo en este trabajo, los resultados pudieron haber sido desviados o inválidos. Para futuras investigaciones con estos sensores, se recomienda verificar y minimizar el ruido que produce cada uno antes de realizar detecciones o usar una fuente de instrumentación.

Se recomienda realizar otras recreaciones de fuga con tiempos mayores a 30 s para seguir conociendo el comportamiento del gas, considerando los peligros a la integridad física y material que esto supone. También, realizar cálculos estadísticos de diferencia de medias sobre los resultados de la Figura 7a, cocina alta, para tener seguridad estadística para la diferencia menor a 1 ppm.

Las variables de esta investigación fueron seleccionadas en base a los hallazgos en la literatura revisada y al criterio de los investigadores en ella representados, sin embargo, se considera que diferentes variables que puedan afectar la detección de fugas de GLP deberían ser consideradas para análisis en estudios similares a futuro, como la presión de salida del gas, la temperatura del recinto, presión atmosférica, entre otras.

REFERENCIAS

- Adekitan, A. I., Matthews, V. O., & Olasunkanmi, O. (2019). A microcontroller-based gas leakage detection and evacuation system. *ICSPC*, 152, 182-186. DOI: 10.1109/ICSPC46172.2019.8976583
- Ajiboye, A. T., Opadji, J. F., Yusuf, A. O., & Popoola, J. O. (2021). Analytical determination of load resistance value for MQ series gas sensors: MQ-6 as case study. *TELKOMNIKA*, 18, 575-582. DOI: 10.12928/TELKOMNIKA.v19i2.17427
- Benavides, J. (2020). *Dispositivo inteligente con tecnología móvil para la detección y prevención de accidentes causados por fuga de gas doméstico: modelo de implementación para la empresa Intec PC* [Tesis de licenciatura]. Universidad de las Fuerzas Armadas. Repositorio de las Fuerzas Armadas. <https://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/11177>
- Budianto, A., Muhtadan, Dipta, I. M. Y., & Iman, A. N. (2020). Development of liquified petroleum gas (LPG) leakage detection wheeled robot on horizontal pipes

- based on Arduino Uno. *Journal of Physics: Conference Series*, 1511, 10-12. DOI: 10.1088/1742-6596/1511/1/012087
- Cho, J.H. (2020). Detection of smoking indoor environments using machine learning. *Applied Sciences*, 10, 1-17. DOI: 10.3390/app10248912
- Cortez, P. (2010). Data mining with neural networks and support vector machines using the R/rminer tool. En P. Perner (Ed.), *Advances in data mining. Applications and theoretical aspects. Proceedins of the 10th Industrial Conference ICDM 2010* (pp. 572-583). Springer.
- Debnath, S., Ahmed, S., Das, S., Nahid, A.-A., & Bairagi, A. K. (2020, 28 y 29 de novimebre). lot based low-cost gas leakage, fire, and temperature detection system with call facilities [Presentación de escrito]. *2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technology*. Dacas, Bangladesh. DOI: 10.1109/ICAICT51780.2020.9333530
- Dey,A.(2016).Machinelearningalgorithms:areview.*InternationalJournalofComputerScience and Information Technologies*, 7(3), 1174-1179. <https://www.semanticscholar.org/paper/Machine-Learning-Algorithms-%3A-A-Review-Dey/56e8863838b4dcc4790108cd1e7e680a104a7c30>
- Fatkiyah, E., Persada, D., & Andayati, D. (2019). Early detection of leaks on gas cylinders using arduino based MQ- 6 sensors. *Journal of Physics: Conference Series*, 1413, 5-9. DOI: 10.1088/1742-6596/1413/1/012030
- Hanwei Sensors. (2019). *Techincal Data of MQ-6 Gas Sensor*.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. D. P. (2017). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). Interamericana Editores.
- Hinestroza, D. (2018). *El machine learning a través de los tiempos y los aportes a la humanidad* [Tesis de bachiller]. Repositorio de la Universidad Libre Seccional Pereira. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/17289>
- Höfner, S., Schütze, A., Hirth, M., Kuhn, J., & Brück, B. (2021). Calibration of metal oxide semiconductor gas sensors by high school students. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, 17, 4-20. DOI: 10.3991/ijoe.v17i04.19215
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Perú: perfil sociodemográfico. Informe nacional. Censos 2017: XII de población; VIII de vivienda y III de comunidades indígenas*.
- Intendencia Nacional de Bomberos del Perú. (2019). Emergencias atendidas por el CGBVP periodo 2013 al 2017. *Investigación y Gestión de la Información*. <https://www.inbp.gob.pe/wp-content/plugins/rigi/uploads/D11AD0E7-0354-05A9-F77A-09F5F414C491.pdf>

- Kamal, U., Ahmed, S., Toha, T. R., Islam, N., & Alim Al Islam, A. B. M. (2020). Intelligent human counting through environmental sensing in closed indoor settings. *Mobile Networks and Applications*, 25, 474-490. DOI: 10.1007/s11036-019-01311-w
- Limagas. (2018). *Hoja de datos de seguridad (MSDS) del GLP*.
- Mallik, A., Ahmed, S., Hossain, G. M. M., & Rahman, M. R. (2020). IoT utilized gas-leakage monitoring system with adaptive controls applicable to dual fuel powered naval vessels/ships: Development & implementation. *Cybernetics and Information Technologies*, 20(1), 138-155. <https://doi.org/10.2478/cait-2020-0010>
- Mensch, A. E., Hamins, A., Tam, W. C., Lu, Z.Q.J., Markell, K., You, C., & Kupferschmid, M. (2021). Sensor and machine learning models to prevent cooktop ignition and ignore normal cooking. *Fire Technology*, 57, 2981-3004. <https://doi.org/10.1007/s10694-021-01112-2>
- Meris, P. R., Dimaunaham, E., De la Cruz, J. C., Fadchar, N. A., Manuel, M. C., Bonaobra, J. C. C., Ranosa, F. J. I., Mangaoang, J. L. D., & Reyes, P. C. (2020). IOT based -automated indoor air quality and LPG leak detection control system using support vector machine. *2020 11th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium*. DOI: 10.1109/ICSGRC49013.2020.9232472
- Nasution, T. H., Nasution, R. Y., Putri, K. A., & Nasution, C.F. (2019). Automatic regulator design for liquified petroleum gas. *IOP Publishing*, 648, 5-6. DOI: 10.1088/1757-899X/648/1/012012
- Pajares, M., & Alcantar, L. (2020). *Implementación de un sistema de vigilancia de gas licuado de petróleo en estaciones de servicio de combustible utilizando una plataforma Adafruit.IO* [Tesis de bachiller]. Repositorio de la Universidad de Ciencias y Humanidades. <https://repositorio.uch.edu.pe/handle/20.500.12872/545>
- Rachman, F. Z., Yanti, N., Hadiyanto, H., Suhaedi, S., Hidayati, Q., Widagda, M. E. P., & Saputra, B. A. (2019). Design of the early fire detection fuzzy logic using multisensor. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, 732, 012039. DOI: 10.1088/1757-899X/732/1/012039
- Raja Kumar, J. R., Pandey, R. K., & Sarkar, B. K. (2019). Pollutant gases detection using machine learning on benchmark research datasets. *Procedia Computer Science*, 152, 360-366. DOI: 10.1016/j.procs.2019.05.005
- Ramírez, J. (2016). *Diseño e implementación de un sistema para detección y monitoreo de la concentración de gas GLP mediante arreglo de sensores orientado al sector residencial* [Tesis de licenciatura]. Repositorio de la Universidad UNIANDÉS. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/12454>

- Rumantri, R., Khakim, M. Y. N., & Iskandar, I. (2018). Design and characterization of low-cost sensors for air quality monitoring systems. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 7, 347-354. DOI: 10.15294/jpii.v7i3.14444
- Singla, P., Jain, P., & Pahuja, R. (2017). Implementation of gas scathe admonisher and control system prototype. *Modern education and Computer Science*, 2, 23-38. DOI: 10.5815/ijem.2017.02.03
- Suparman, M. A. B., & Jong, S.L. (2019). Analytical determination of load resistance value for MQ -series gas sensors: MQ-6 as case study. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 15, 1102-1108. <https://ijeecs.iaescore.com/index.php/IJECS/article/view/19103>
- Supriyono, H., Anton, S., Fadlilah, U., & Harismah, K. (2020). Portable machine with Android application display for measuring CO and HC of vehicle exhaust gas. *Journal of Physics: Conference Series*, 1524, 012110. DOI: 10.1088/1742-6596/1524/1/012110
- The National Institute for Occupational Safety and Health. (s.f). *NIOSH poket guide to chemical hazards*. CDC. Recuperado el 5 de julio del 2022, de <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2005-149/pdfs/2005-149.pdf>
- Zhao, M., Huang, T., Liu, C., Chen, M., Ji, S., Christopher, D. M., & Li, X. (2021). Leak localization using distributed sensors and machine learning for hydrogen releases from a fuel cell vehicle in a parking garage. *11th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium*, 46, 1420-1433. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.09.218

EVALUACIÓN DE LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR LODOS DE DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE VALENCIA: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

HERALDO MANUEL BETANCOURT ROMERO*
<https://orcid.org/0000-0001-8407-0222>

BYRON GONZALO LAPO CALDERÓN
<https://orcid.org/0000-0002-8556-1442>

JOSÉ HUMBERTO AYALA ARMIJOS
<https://orcid.org/0000-0003-0148-4433>

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Recibido: 1 de agosto del 2022 / Aceptado: 28 de septiembre del 2022

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n43.5959>

RESUMEN. El crecimiento poblacional es un indicador de que la producción de lodos de depuradoras va a seguir incrementándose en los próximos años como consecuencia del incremento del número de plantas de tratamiento de aguas residuales. Este trabajo analiza los estudios que se han realizado en los últimos años sobre la utilización de lodos de depuradora para la obtención de carbón activado (CA). Los resultados indicaron que en el 2013 hubo una mayor producción científica (13,86 %) con respecto a los otros años y el país que destaca en investigaciones es China (52,48 %). Se encontró que el 77,23 % de estudios usó como única materia prima lodo de depuradora y el 22,77 % empleó lodos de depuradora más otro precursor para mejorar el rendimiento de adsorción de los carbones activados obtenidos. Se indicaron eficiencias de remoción ≥ 50 % en colorantes, compuestos orgánicos, compuestos químicos y metales pesados (63,6 %, 68,2 %, 71,4 % y 60,6 % respectivamente); a su vez, los fármacos tuvieron un mayor porcentaje (66,7 %) en eficiencia de remoción < 50 %. En conclusión, hay mucho interés en la valorización de los lodos de depuradora, de los que se puede obtener un producto de valor agregado. Los resultados demuestran altos rendimientos de remoción de contaminantes, lo que hace que esta alternativa sea económicamente viable.

PALABRAS CLAVE: lodos / depuradoras / metales pesados / adsorción / contaminantes / carbón activado

* Correos electrónicos en orden de aparición: heraldbetan@gmail.com; blapo@utmachala.edu.ec; jayala@utmachala.edu.ec

EVALUATION OF OBTAINING ACTIVATED CARBON FROM WASTEWATER TREATMENT PLANT SLUDGE IN THE COMMUNITY OF VALENCIA: A REVIEW

ABSTRACT. As the population grows, sewage sludge production will continue to increase due to necessary increase in the number of wastewater treatment plants. This work analyzes studies from recent years on the use of sewage sludge to obtain activated carbon (AC). The results indicate that in 2013 there was a greater scientific production (13,86 %) compared to other years and the country that stands out in the research is China (52,48 %). They also show that 77,23 % of the studies used sewage sludge as the only raw material, and 22,77 % used sewage sludge plus another precursor to improve the adsorption performance of the activated carbons. Removal efficiencies ≥ 50 % were indicated in dyes, organic compounds, chemical compounds and heavy metals (63,6 %, 68,2 %, 71,4 %, 60,6 % respectively), in turn, drugs had a higher percentage (66,7 %) in removal efficiencies < 50 %. In conclusion, there is much interest in recovering sewage sludge, which allows for obtaining a value-added product. The results show high contaminant removal performance, which makes this alternative economically viable.

KEYWORDS: Sludge / treatment plants / heavy metals / adsorption / pollutants / activated carbon

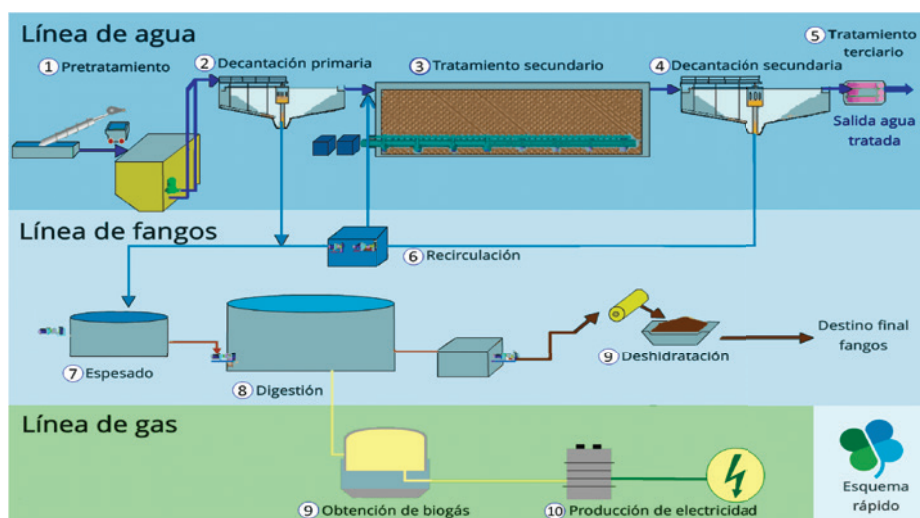
1. INTRODUCCIÓN

1.1 Fangos / lodos de depuradora

Los lodos de depuradora se definen según la Directiva sobre aguas residuales de la UE 86/278/CEE como “los lodos residuales provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o urbanas y de otras plantas de tratamiento de aguas residuales de una composición similar a las aguas residuales domésticas y urbanas” (Kurt et al., 2018), siendo esta agua de origen doméstico o mezclas de aguas residuales domésticas con aguas residuales industriales y/o agua de correntía pluvial. Una EDAR está encargada de reducir la contaminación de las aguas residuales mediante ciertos tratamientos y procesos, pero además tiene otro objetivo, tratar los lodos producidos en los procesos de depuración del agua residual a fin de conseguir un producto que cumpla con las condiciones exigidas para el tratamiento o destino que se les vaya a dar (González, 2016; Pérez, 2016; Jiménez, 2018). Del proceso depurativo del agua residual se obtienen dos corrientes fundamentalmente: una es el agua ya tratada, que se envía a un cauce receptor con la certeza de que no producirá contaminación alguna, y la otra es la llamada de lodos de depuradora. Estos son residuos semisólidos resultantes de los diferentes procesos de tratamiento químicos, biológicos y físicos (Figura 1). Los lodos no se pueden eliminar directamente sin aplicarles otro tipo de tratamiento, ya que contienen gran cantidad de sustancias patógenas para el ambiente y el hombre (Pérez, 2016; Vila, 2018; Jiménez, 2018).

Figura 1

Esquema del proceso de una EDAR



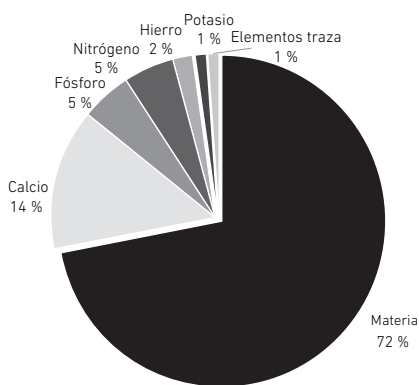
Nota. Adaptado de “Valoración de fangos de EDAR vía digestión y cogeneración del biogás,” por M. Jiménez, 2018, p.25. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/31341>

Es importante tener en cuenta el tipo de tratamiento presente en la línea de agua y de la eficiencia del mismo. Por ello, no solo hay que tener en cuenta los procesos en los que se generan los lodos (tratamientos primarios, biológico y/o químico), sino el buen funcionamiento de los procesos anteriores porque van a influir en la cantidad de lodos obtenidos (González, 2016).

Los lodos se caracterizan por ser un residuo extremadamente líquido (con más de un 95 % de agua). La composición y cantidad generada de lodos puede variar considerablemente de una instalación de tratamiento a otra dependiendo de factores como el tipo de contaminantes presentes, los hábitos de una población, el clima, tipo de tratamiento realizado tanto al agua como al fango, caudal, número de habitantes abastecidos, etc. Los tratamientos del agua concentran la contaminación presente en el agua y, por tanto, los lodos contienen amplia diversidad de materias suspendidas o disueltas. Algunas de ellas con valor agronómico (materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio, y en menor cantidad calcio, magnesio y otros micronutrientes esenciales para las plantas) y otras con potencial contaminante como los metales pesados (entre ellos: cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel, plomo y zinc), los patógenos y los contaminantes orgánicos (Figura 2) (Jiménez, 2018).

Figura 2

Composición típica de la materia seca de los lodos de EDAR



Nota. Adaptado de "Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector" por M. Herrero et al., 2016, *Nature Climate Change*, 6. <https://www.nature.com/articles/nclimate2925>

Teniendo en cuenta la información de la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana (EPSAR) referente a la aplicación de lodos en la Comunidad Valenciana, los lodos de depuradora son residuos semisólidos en los que predomina el agua (72-85 %) y en menor proporción residuo seco (28-15 %). Se entiende como residuo seco la amplia cantidad de materia disuelta o suspendida que podemos

encontrar en los lodos. La composición principal del residuo seco del lodo es materia orgánica, básicamente, biomasa microbiana (Pérez, 2016).

1.2 Clasificación de los lodos de depuradora

Existen diversos criterios que permiten clasificar los lodos, entre ellos:

- a. Origen del efluente de la EDAR
- b. Etapa de depuración de las aguas residuales en la que se genere el lodo
- c. Tipo de tratamiento específico realizado en la línea de fangos (Wang et al., 2008)

1.2.1 Origen del efluente de la EDAR

- Lodos urbanos: el agua tratada en la EDAR tiene un componente predominantemente urbano (el porcentaje de agua urbana es ≥ 80 %). La cuenca de recogida de aguas está formada por aguas domésticas y de pequeñas y medianas empresas ubicadas dentro de los cascos urbanos.
- Lodos industriales: son los lodos generados en estaciones de tratamiento de vertidos industriales o con una predominancia de estos.

La calidad de las aguas influentes a la EDAR determinará los posibles riesgos de presencia de contaminación no biodegradable, que puede deteriorar las características de los lodos, de forma que su destino final se vea condicionado (González, 2016).

1.3 Carbón activado

El carbón activado o carbón activo (CA) es un material carbonoso, microcristalino y no grafitico, preparado por carbonización de materiales orgánicos, que se ha sometido a un proceso de activación con gases oxidantes o bien a un tratamiento con adición de productos químicos con el objeto de aumentar su porosidad y desarrollar su superficie interna, lo que confiere a los carbones activados una alta capacidad adsorbente (Boualem et al., 2014). Dicha propiedad de retener moléculas en su estructura se denomina adsorción; al sólido se le designa como *adsorbente* y a la sustancia adsorbida, *adsorbato* (Templeton y Collins, 2016). Las propiedades adsorbentes del CA se atribuyen a su extensa área superficial, a su alto grado de reactividad superficial, a una fuerza o resistencia mecánica adecuada, al volumen de poros que varía entre 0,1 y 2,0 $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$, y a su tamaño de poro adecuado que permite la accesibilidad a la superficie interna. El área superficial de los carbones activos comerciales (CAC) suele estar comprendida entre 400 y 2000 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ y está contenida principalmente en los poros de menor tamaño. La estructura porosa de un CA se debe a diversas razones: el material de partida, el proceso de activación y la extensión en que se ha realizado este último. Esta es la razón por la que el área superficial y el volumen de poros de

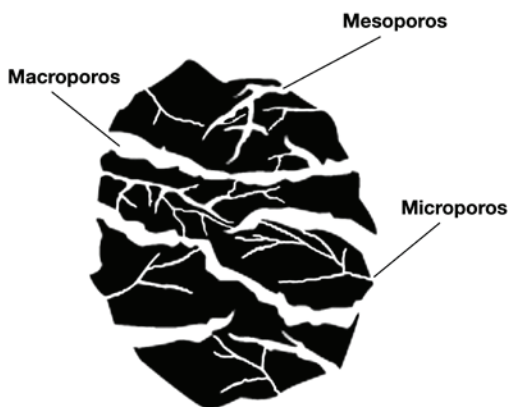
los carbones activos puede variar tanto de unos carbones a otros. La aplicabilidad de un determinado CA para uno u otro uso radica en la relación de poros de diferentes tamaños. Así, los poros de menor tamaño son adecuados para la adsorción de gases y vapores y también para la separación de adsorbatos, mientras que en el caso de adsorción de solutos en disoluciones acuosas son preferibles poros de tamaños mayores (Ovín, 2011).

Los carbones activados son materiales macroscópicamente desordenados, aunque poseen dominios microcristalinos con un cierto grado de ordenamiento. El proceso de activación al que se someten los carbones activados implica la desaparición de carbono de los espacios situados entre las formaciones cristalográficas compuestas de carbono no organizado, lo que hace que se forme una gran cantidad de pequeños espacios entre las partículas, que se denominan poros, lo que produce que estos materiales posean una gran superficie interna en comparación con la superficie externa o geométrica. Esta estructura porosa interna, tan desarrollada y accesible a los procesos de adsorción, confiere a los carbones activados su principal característica: su gran capacidad adsorbente. De acuerdo con la clasificación de la International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), los poros se clasifican en función de su diámetro en tres grupos principales, como se muestra en la Figura 3:

- Microporos: diámetro de poro menor de 2 nm
- Mesoporos: diámetro de poro entre 2 nm y 50 nm
- Macroporos: diámetro de poro mayor de 50 nm

Figura 3

Gránulo de carbón activado (CA)



Nota. Adaptado de "Activated carbons obtained from sewage sludge by chemical activation: Gas-phase environmental applications," por T. Boualem et al, 2014, *Journal of Environmental Management*, 140. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479714001510>

Aunque los principales responsables de la adsorción en un CA son los microporos, ya que son los que contribuyen en mayor medida a la superficie específica del carbón, los mesoporos y macroporos son igualmente importantes, ya que facilitan el acceso de los adsorbatos a los microporos. Las propiedades adsorbentes de los CA no se ven solo determinadas por su estructura porosa, sino también por su naturaleza química, ya que contienen en su estructura pequeñas cantidades de heteroátomos tales como oxígeno y nitrógeno, lo que permite que sustancias polares sean débilmente retenidas sobre la superficie del CA (Boualem et al., 2014).

2. METODOLOGÍA

En este estudio se consultaron artículos científicos de dos bases de datos: Science Direct y Scopus. Se consideró solo artículos publicados en revistas científicas desde el 2010 hasta la actualidad y se encontró un total de 101 publicaciones durante dicho periodo. Para la obtención de los artículos se han utilizado las siguientes palabras clave o conjuntos de palabras: *sewage sludge, activated carbon, carbonization, solid waste, residual water treatment, organic waste, valorization*.

Después de la recolección del material de estudio, la revisión se desarrolló con el fin de contextualizar el proceso de obtención de carbón activado a partir de lodos de depuradoras; finalmente, se presentan los análisis de costo-beneficio como un método para integrar todos los costos y beneficios que un proyecto de gestión tiene sobre la dimensión económica, social y ambiental de una sociedad.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Valorización de los lodos de depuradora

Una opción que presenta una promesa especial debido a su potencial para valorizar los lodos de depuradora es la conversión de los mismos en adsorbentes, especialmente el carbón activado (Wang et al., 2011). Se informó que los carbones activados producidos a partir de materiales de desecho de bajo costo tienen eficiencias de remoción de contaminantes que son similares a los producidos por carbones activados comerciales (Al-Malack y Dauda, 2018). La producción de CA a partir de lodos tiene el potencial de ser una alternativa rentable con respecto a la gestión de residuos. De hecho, los costos de producción de carbón a base de lodos dependen de factores como la disponibilidad de lodos y el procesamiento requerido, incluidos los costos de energía para la pirólisis y el secado, y tienen el potencial de estar a la par o incluso más bajos que los costos de producción de los carbones activados comerciales (Björklund y Li, 2017b). El CA se usa ampliamente en la descontaminación del aire y de las aguas residuales. Su efectividad

para remover contaminantes se ha encontrado superior a muchos otros métodos debido a la alta calidad del efluente obtenido, la simplicidad de diseño, la facilidad de operación y la insensibilidad a las sustancias tóxicas (Almahbashi et al., 2021; He et al., 2022; Huang et al., 2022). En los últimos años, varios países se han dedicado al estudio de la obtención de carbón activado a partir de lodos de depuradora (CALD) como se muestra a continuación:

Figura 4

Artículos publicados en los últimos años sobre la obtención de CALD

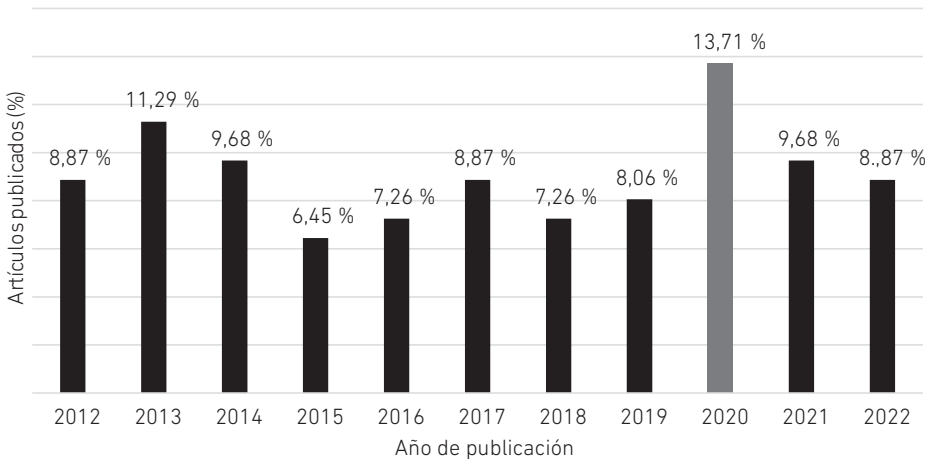
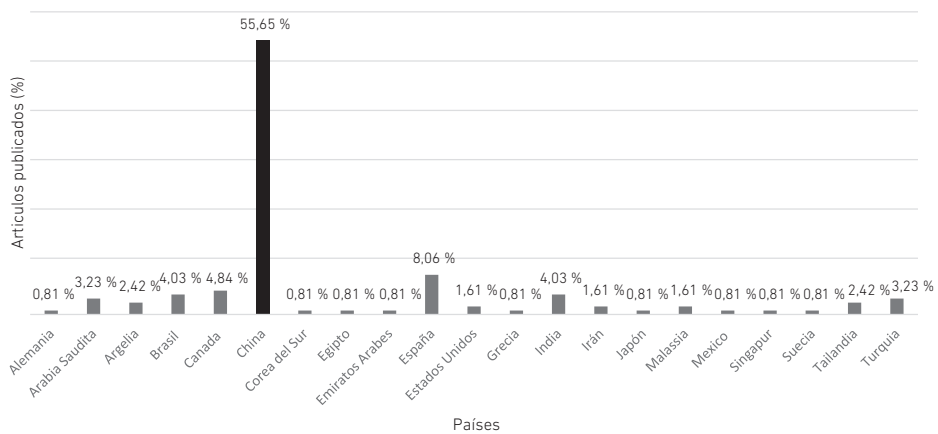


Figura 5

Países que han investigado sobre la obtención de CALD, periodo 2012 - 2022



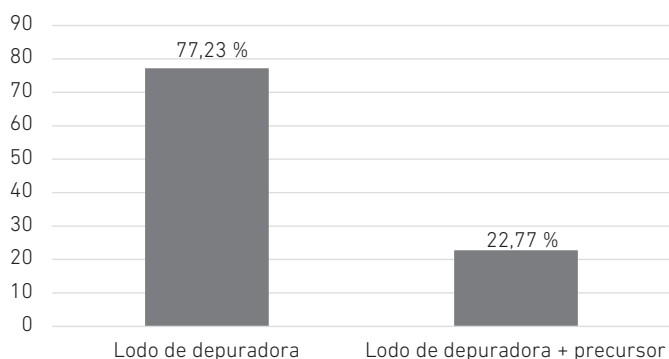
Se puede observar, en la Figura 4, que en el año 2020 se encontró un mayor porcentaje de publicaciones (13,71 %) con respecto a los otros años. Por otro lado, en la distribución de publicaciones en función de los países destaca China (55,65 %) en el periodo 2012-2022 como se muestra en la Figura 5.

3.2 Desarrollo en la obtención de carbón activado a partir de lodos de depuradora

Actualmente, los principales métodos utilizados para la obtención de carbón activado son físicos y químicos o una combinación de ambos; el más empleado es pirólisis, seguido de la gasificación. En la activación física, los gases de activación, como el dióxido de carbono, el aire o el vapor de agua, se utilizan para corroer la superficie de la matriz de carbono a altas temperaturas (Filippín et al., 2017). Los procesos de activación química son maduros e involucran el uso de metales alcalinos, ácidos y sales, por ejemplo, el hidróxido de potasio (KOH) (Yang et al., 2019). El KOH es un activador muy utilizado debido a su rendimiento de activación altamente efectivo, el ácido fosfórico (H_3PO_4) y el cloruro de zinc ($ZnCl_2$) también son utilizados pero debido a su alto costo, siempre quedan como segunda opción. Se ha demostrado que el uso de un agente activador y la temperatura de carbonización fueron los factores clave que influyeron en la calidad de los adsorbentes basados en lodos. Los investigadores sugieren que la optimización de la temperatura de carbonización de lodos con materia orgánica adecuada podría mejorar el rendimiento de adsorción de los carbones activados obtenidos (Zhao et al., 2017). Por ejemplo, a mayor temperatura de pirólisis, la microporosidad y el área de superficie de CALD aumenta, lo cual beneficia la estructura del material adsorbente (Zhou et al., 2019). A continuación, se describe la proporción de artículos científicos que utilizaron como materia prima principal lodos de depuradora, frente a estudios que incluyeron lodos de depuradora + precursor.

Figura 6

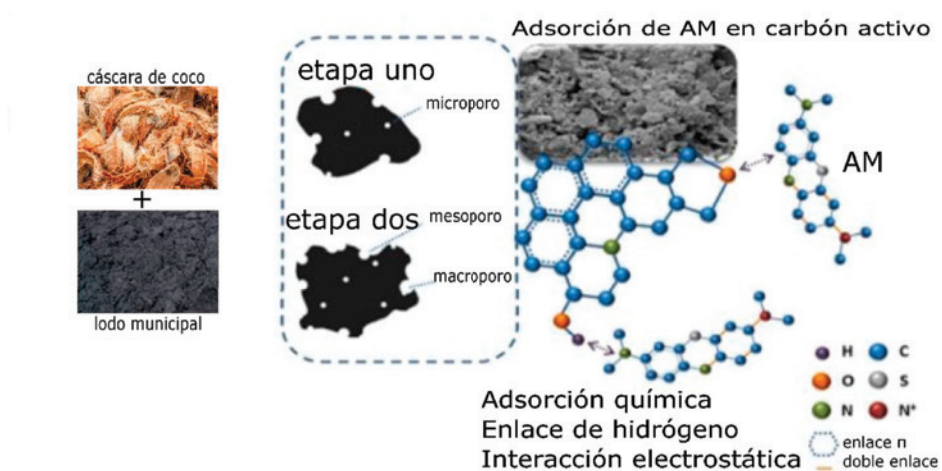
Distribución porcentual de estudios publicados que han utilizado lodos de depuradora y lodos de depuradora + materia orgánica



Según describe la Figura 6, se encontró un mayor porcentaje de publicaciones donde se aplicó el lodo de depuradora como única materia prima para obtener el carbón activado (77,23 %); cabe mencionar que el 22,77 % de artículos en los que se aborda el empleo de lodos de depuradora + precursor son recientes, por lo cual se espera que estos estudios aumenten e incluso superen a los que emplean un solo precursor para obtener carbón activado. El desarrollo de estos estudios hace que estas técnicas sean novedosas, eficientes y respetuosas con el medio ambiente debido a que se utiliza en conjunto con los lodos de depuradora, otra materia prima para obtener carbón activado. Se muestran algunos estudios recientes en las figuras 7 y 8.

Figura 7

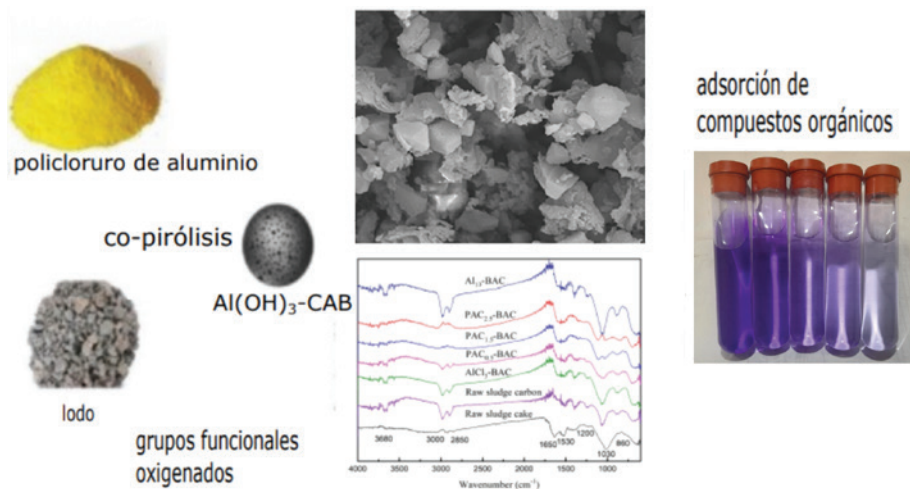
Evaluación de carbón activado sintetizado por co-pirólisis en una y dos etapas a partir de lodos y cáscara de coco



Nota. Se entiende por AM: azul de metileno. Adaptado de "Evaluation of activated carbon synthesized by one-stage and two-stage co-pyrolysis from sludge and coconut shell" por B. Yang et al., 2019, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 170. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651318312739>

Figura 8

Preparación de carbón biológico activado (CBA) utilizando sales de aluminio acondicionadas con torta de lodo



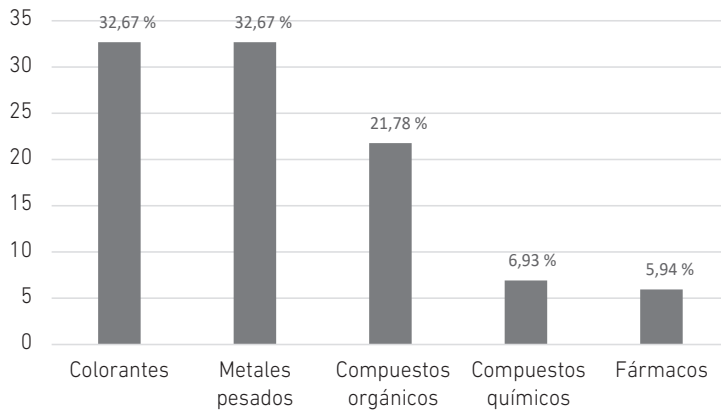
Nota. Adaptado de "Preparation of biological activated carbon (BAC) using aluminum salts conditioned sludge cake for the bio-refractory organic contaminants removal from anaerobically digested liquor" por H. Cheng et al, 2019, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 561, p.89. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092777571830801X>

3.3 Análisis de los resultados alcanzados en las investigaciones

El manejo de los lodos de desecho continúa planteando un gran desafío, dado el creciente desarrollo del tratamiento de aguas residuales. Se indicó que debido a los componentes complejos en los lodos, se podrían generar altos costos de remoción, los cuales serían más del 60 % del costo operativo del proceso total de tratamiento de aguas residuales (Cheng et al., 2019). Los CALD son conocidos por ser adsorbentes con rendimientos altos en la remoción de contaminantes en el tratamiento de aguas residuales. Los estudios demostraron que tienen excelentes propiedades de adsorción y son aplicables para la remoción de antibióticos (Rivera-Utrilla et al., 2013; Xu et al., 2015), varios tipos de colorantes (Kacan, 2016; Puchana-Rosero et al., 2016; Silva et al., 2016), contaminantes orgánicos (Björklund y Li, 2017a; Li et al., 2011) y muchos metales pesados como Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn y Hg (Zhou et al., 2019). Se describe a continuación la proporción de artículos científicos encontrados que incluyeron estos tipos de contaminantes para ser objeto de remoción experimental, mediante adsorción con CALD.

Figura 9

Tipos de contaminantes utilizados en los estudios de adsorción de CALD



En la Figura 9, los tipos de contaminantes más estudiados fueron, en una misma proporción, los colorantes y los metales pesados con el (32,67 %), esto es debido a que hoy en día es imprescindible someter las aguas residuales a tratamientos adicionales (por ejemplo, con carbón activado) antes de ser vertidas al medio ambiente. Por otro lado, la presencia de residuos farmacéuticos en las aguas residuales ha cobrado mucho interés en los últimos años, sin embargo, se encontró tan solo un (5,94 %) de estudios dedicados a estos contaminantes, lo que podría indicar que faltaría investigar aún más su remoción mediante adsorción con CALD. Se realizó un análisis de los resultados obtenidos en las investigaciones acerca de la adsorción del carbón activado a partir de lodos de depuradora (CALD) elaborados y se los agrupó en dos categorías, de acuerdo con su eficiencia de remoción (<50 % y \geq 50 %), ya que en mayoría de los estudios se presentaban rangos de remoción de los distintos contaminantes.

Tabla 1

Análisis de los resultados obtenidos en las publicaciones sobre eficiencia de remoción por adsorción del CALD elaborado

Tipo de compuesto y/o contaminante		Recuento de publicaciones	Eficiencia de remoción por adsorción del CALD		Total de publicaciones
			50 %	50 %	
Colorantes		12	21	33	
	%	36,4 %	63,6 %	100 %	
Compuestos orgánicos		7	15	22	
	%	31,8 %	68,2 %	100 %	
Compuestos químicos		2	5	7	
	%	28,6 %	71,4 %	100 %	
Fármacos		4	2	6	
	%	66,7 %	33,3 %	100 %	
Metales pesados		13	20	33	
	%	39,4 %	60,6 %	100 %	
					101

Según el análisis de la Tabla 1, los estudios que demuestran eficiencias de remoción ≥ 50 % fueron aquellos dedicados a los colorantes, los compuestos orgánicos, los compuestos químicos y los metales pesados (63,6 %, 68,2 %, 71,4 %, 60,6 %) respectivamente; a su vez, los fármacos tuvieron un mayor porcentaje (66,7 %) en eficiencias de remoción < 50 %. Se ha comentado anteriormente que algunos de ellos han sido más estudiados, por lo cual se puede entender que han mejorado los parámetros experimentales y así se han obtenido buenos resultados de remoción de estos contaminantes.

3.4 Estudio de viabilidad para la remoción de productos farmacéuticos presentes en las aguas residuales con CALD

Actualmente existen muchos estudios cuyo objetivo es identificar productos farmacéuticos (PF) específicos en muestras de aguas residuales, sus concentraciones y diferentes opciones de tratamiento para su remoción. Una forma de reducir los niveles de PF en

efluentes es a través de tecnologías de tratamiento terciario, si bien es importante tener en cuenta que este proceso aumenta el costo del tratamiento de las aguas residuales. Sin embargo, no todas las EDAR incorporan este tipo de tecnologías. Por ejemplo, en España solo el 9 % de las aguas residuales urbanas recibe tratamiento terciario. Esta situación hace que la presencia de PF en los efluentes de las EDAR sea relevante para los fines de reutilización del agua. En este sentido, se ha evaluado la eficacia de eliminar los PF mediante diferentes procesos (por ejemplo, mediante carbón activado). Por lo tanto, es necesario cuantificar los costos generales de los procesos de tratamiento de aguas residuales (incluidas las mejoras tecnológicas en las EDAR) para seleccionar la tecnología adecuada para eliminarlos (Bellver-Domingo et al., 2017).

El análisis costo-beneficio (ACB) se presenta como un método ampliamente aceptado y usado para evaluar la viabilidad económica de proyectos y actuaciones (Hernández et al., 2010). La tendencia actual de la economía en relación con el medio ambiente es incluir las externalidades ambientales en el análisis de viabilidad. Los precios sombra podrían utilizarse para internalizar las externalidades ambientales relacionadas con los productos farmacéuticos, que ingresan con facilidad en los cuerpos de agua y representan una amenaza para el equilibrio del ecosistema, por lo que resulta importante su incorporación a los procesos de toma de decisiones y una evaluación adecuada de los costos generales (Morfil, 2021). En este trabajo, se ha considerado realizar un estudio de viabilidad económica suponiendo que una EDAR deseara instalar un tratamiento terciario para la remoción de productos farmacéuticos en sus efluentes de descarga para mejorar la calidad del agua con miras a su reutilización. Se plantea que la tecnología más adecuada para este propósito es mediante adsorción con carbón activado, el mismo que será elaborado mediante otra tecnología a partir de los CALD que se producen diariamente en la misma instalación. Los datos generales de la EDAR e hipótesis económicas de la inversión a realizar se encuentran en la Tabla 2.

Tabla 2

Hipótesis económicas para el estudio de viabilidad simulado

Hipótesis económicas		
Datos generales de la EDAR		
Habitantes equivalentes	200 000	HE
Caudal tratado	31,595	M3/día
Lodo producido	12	TMS/día
Tecnología A - elaboración de CALD		
Costo de inversión	€ 2331,565	
Costos de operación y mantenimiento	52	€/ton
Periodo de amortización	20	años
Tecnología B - tratamiento terciario con CALD		

(continúa)

(continuación)

Costo de inversión	€ 6254,565	
Costos de operación y mantenimiento	0,152	€/m ³
Precio de venta del agua	0,355	€/m ³
Periodo de amortización	20	años
Beneficio ambiental	17 538	M€/año
Inflación	3	%
Tasa de descuento	3	%
Tipo de interés	2	%

El periodo de amortización de ambas tecnologías es de 20 años, la inflación es del 3 %, la tasa de descuento es del 3 % y el tipo de interés del 2 %. El precio de venta del agua regenerada se estima en 0,355 €/m³. Según el estudio de (Bellver-Domingo et al., 2017), el beneficio ambiental de eliminar ibuprofeno, carbamazepina, trimetoprim, acetaminofén y naproxeno de los efluentes que se descargan de las EDAR con destino a humedal, río y mar, se estima en un promedio de 17 538 M€/año. Su cifra elevada es debido a que algunos de estos PF han sido detectados en grandes concentraciones en estos ecosistemas acuáticos. Para conseguir un ACB realista, las externalidades ambientales han sido incluidas en este ejemplo. Se calcula a continuación el valor de esos costos y beneficios en el futuro (considerando la vida útil del proyecto), además del valor actual neto (VAN) de esos flujos de caja, de tal forma que esos costos y beneficios proyectados a futuro los traemos al presente.

Tabla 3*Flujos de caja y cálculo del valor actual neto (VAN) en euros (€)*

Año	Beneficio total - costo total (con externalidades)	Beneficio total - costo total (sin externalidades)	VAN (con externalidades)	VAN (sin externalidades)
1	17 799 078,762	1708,762	17 450 077,217	1675,257
2	18 333 031,125	1740,025	17 621 137,183	1672,458
3	18 883 001,590	1771,757	17 793 874,142	1669,566
4	19 449 470,693	1803,965	17 968 304,539	1666,585
5	20 032 933,387	1836,657	18 144 444,980	1663,517
6	20 633 899,470	1869,838	18 322 312,232	1660,363
7	21 252 894,039	1903,518	18 501 923,230	1657,127
8	21 890 457,939	1937,703	18 683 295,072	1653,810
9	22 547 148,243	1972,400	18 866 445,023	1650,416

(continúa)

(continuación)

Año	Beneficio total - costo total (con externalidades)	Beneficio total - costo total (sin externalidades)	VAN (con externalidades)	VAN (sin externalidades)
10	23 223 538,736	2007,618	19 051 390,520	1646,946
11	23 920 220,416	2043,364	19 238 149,168	1643,402
12	24 637 802,010	2079,646	19 426 738,746	1639,787
13	25 376 910,507	2116,473	19 617 177,208	1636,102
14	26 138 191,707	2153,852	19 809 482,683	1632,350
15	26 922 310,783	2191,791	20 003 673,477	1628,533
16	27 729 952,861	2230,300	20 199 768,076	1624,653
17	28 561 823,624	2269,386	20 397 785,148	1620,711
18	29 418 649,924	2309,059	20 597 743,543	1616,709
19	30 301 180,418	2349,327	20 799 662,296	1612,650
20	31 210 186,222	2390,198	21 003 560,629	1608,535
			383 496 945,112	32 879,478

Como se observa en la Tabla 3, el VAN obtenido es positivo, con externalidades ambientales y sin ellas, lo cual indica que los beneficios totales son superiores a los costos totales y que este proyecto es económicamente viable. Este ejemplo da una clara idea de una buena gestión integrada de los recursos hídricos que minimiza los impactos ambientales (contaminantes, lodos generados) y mejora la reutilización del agua tratada.

4. CONCLUSIONES

La gran producción mundial de lodos de depuradora seguirá incrementándose en los próximos años debido al aumento del número de plantas de tratamiento de aguas residuales en razón del crecimiento poblacional. Estos lodos son ricos en materia orgánica, por tal motivo se ha investigado en la obtención de adsorbentes de bajo costo. China destaca en estas investigaciones con el (52,48 %) de las publicaciones acerca de procesos en los que se ha obtenido carbón activado a partir de lodos de depuradora (CALD). La preparación de CALD está siendo objeto de estudio en la actualidad como adsorbentes para la remoción de diversos contaminantes presentes en las aguas residuales.

En la comunidad de Valencia se desarrollan carbones activados a partir de lodos de depuradora en nuevas condiciones experimentales, los cuales demuestran que el uso de un agente activador y la temperatura de carbonización fueron factores clave que influyeron en la calidad de los carbones activados. Los investigadores establecen

que los mismos tienen excelentes propiedades de adsorción y son aplicables para la remoción de fármacos, varios tipos de colorantes, contaminantes orgánicos y muchos metales pesados como Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn y Hg. Además, se encontró en un 22,77 % de publicaciones recientes que en estos procesos se emplean lodos de depuradora y otro precursor para obtener carbón activado, lo cual hace que esta alternativa sea respetuosa con el medio ambiente ya que se utiliza otro residuo para su elaboración.

La Directiva Marco del Agua (DMA) da un nuevo enfoque en la planificación de los recursos hídricos, ya que introduce el concepto de recuperación de costos de los servicios relacionados con el agua, junto con la necesidad de realizar estudios económicos para el diseño e implementación de políticas eficientes en la gestión de los recursos hídricos. Se demostró, mediante un ejemplo, la viabilidad económica de la remoción de productos farmacéuticos presentes en las aguas residuales por medio de un tratamiento terciario (adsorción con CALD), donde se obtuvo un VAN positivo con externalidades ambientales y sin ellas, lo cual indica que usar esta alternativa es económicamente viable. Además, debido a que el CALD obtenido tiene excelentes rendimientos de remoción de contaminantes, semejantes a los del carbón activado comercial (que tiene un rendimiento de remoción de 85 %, y un costo aproximado es de € 985/ton), se podría analizar incluso su venta.

La eliminación total del carbón activado saturado sigue siendo la opción más viable cuando el material adsorbente se encuentre totalmente saturado. El método más efectivo para su disposición final es la encapsulación en concreto, cal, plástico o asfalto ya que, de esta manera, se presenta una resistencia fuerte a la lixiviación.

El análisis coste beneficio (ACB) es una herramienta útil para integrar todos los costos y beneficios de un proyecto de gestión en relación con las dimensiones económica, social y ambiental de una sociedad. Quedó demostrado que se debe incluir dentro de un análisis de viabilidad las externalidades ambientales que carecen de valor de mercado, ya que tienen mucha influencia en la toma de decisiones para determinar si un proyecto es viable o no.

REFERENCIAS

- Al-Malack, M. H., & Dauda, M. (2018). Production of sludge-based activated carbon: Optimization and characterization. *Desalination and Water Treatment*, 123, 59-73.
- Almahbashi, N. M. Y., Kutty, S. R. M., Ayoub, M., Noor, A., Salihi, I. U., Al-Nini, A., Jagaba, A. H., Aldhawi, B. N. S., & Ghaleb, A. A. S. (2021). Optimization of preparation conditions of sewage sludge based activated carbon. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(2), 1175-1182. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.07.026>
- Bellver-Domingo, A., Fuentes, R., & Hernández-Sancho, F. (2017). Shadow prices of emerging pollutants in wastewater treatment plants: Quantification of

- environmental externalities. *Journal of Environmental Management*, 203(pt 1), 439-47. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.08.025>
- Björklund, K., & Li, L. (2017a). Removal of organic contaminants in bioretention medium amended with activated carbon from sewage sludge. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(23), 19167-19180. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9508-1>
- Björklund, K., & Li, L. (2017b). Adsorption of organic stormwater pollutants onto activated carbon from sewage sludge. *Journal of Environmental Management*, 197, 490-97. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.011>
- Boualem, T., Debab, A., Martínez de Yuso, A., & Izquierdo, M. T. (2014). Activated carbons obtained from sewage sludge by chemical activation: Gas-phase environmental applications. *Journal of Environmental Management*, 140, 145-51. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.03.016>
- Cheng, H., Ai, J., Zhang, W., Fu, X., Du, Y., & Wang, D. (2019). Preparation of biological activated carbon (BAC) using aluminum salts conditioned sludge cake for the bio-refractory organic contaminants removal from anaerobically digested liquor. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 561, 89-100. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.10.053>
- Dauda, M., & Al-Malack, M. H. (2018). Utilization of municipal sludge in adsorption of cadmium and phenol in Saudi Arabia. *Desalination and Water Treatment*, 113, 195-204.
- Fan, L., Chen, Y., Wang, L., & Jiang, W. (2011). Adsorption of Pb (II) ions from aqueous solutions by pyrolusite-modified activated carbon prepared from sewage sludge. *Adsorption Science and Technology*, 29(5), 495-506. <https://doi.org/10.1260/0263-6174.29.5.495>
- Fernández, A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales mixtas para más de 100.000 habitantes equivalentes* [Tesis de grado]. UPCCommons. Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC. Universidad Politécnica de Cataluña. <http://hdl.handle.net/2099.1/10054>
- Filippín, A., Luna, N., Pozzi, M., & Pérez, J. (2017). Obtención y caracterización de carbón activado a partir de residuos olivícolas y oleícolas por activación física. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 8(3), 59-71. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323652916007>
- González Granados, I. C. (2016). *Generación, caracterización y tratamiento de lodos de EDAR* [Tesis doctoral]. Universidad de Córdoba. <http://hdl.handle.net/10396/13199>

- Herrero, M., Henderson, B., Havlík, P., Thornton, P., Conant, R., Smith, P., Wiersenius, S., Hristov, A., Gerber, P., Gill, M., Butterbach, K., Valin, H., Garnett, T., & Stehest, E. (2016). Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change*, 6, 452-461. <https://doi.org/10.1038/nclimate2925>
- He, Y., Li, J., Zhao, Y., Yang, C., Xu, C., Liu, X., Xing, X., Tie, J., Li, R., & Zheng, J. (2022). Sewage-sludge derived activated carbon impregnated with polysulfide-sulfidated nZVI: A promising material for Cr(VI) reductive stabilization. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 642, 128614. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.128614>
- Hernández Sancho, F., Molinos Senante, M., & Sala Garrido, R. (2010). Estudio de viabilidad económica para el tratamiento de aguas residuales a través de un análisis coste beneficio. *Rect@: Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA* (11): 1-25. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3673255>
- Huang, C., Mohamed, B. A., & Li, L. Y. (2022). Comparative life-cycle assessment of pyrolysis processes for producing bio-oil, biochar, and activated carbon from sewage sludge. *Resources, Conservation and Recycling*, 181, 106273. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106273>
- Jiménez, M. (2018). Valoración de fangos de EDAR vía digestión y cogeneración del biogás [Tesis de licenciatura]. Repositorio documental de la Universidad de Valladolid. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/31341>
- Kacan, E. (2016). Optimum BET surface areas for activated carbon produced from textile sewage sludges and its application as dye removal. *Journal of Environmental Management*, 166, 116-23. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.09.044>
- Li, J., Xing, X., Li, J., Shi, M., Lin, A., Xu, C., Zheng, J., & Li, R. (2018). Preparation of thiol-functionalized activated carbon from sewage sludge with coal blending for heavy metal removal from contaminated water. *Environmental Pollution*, 234, 677-683. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.102>
- Li, J., Zhang, L., Gou, C., Shi, M., Li, J., Zheng, C. R., Yang, M., Zheng, J., & Li, X. (2017). Removal of Cr (VI) by sewage sludge based activated carbons impregnated with nanoscale zero-valent iron. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 17(9): 6936-41. <https://doi.org/10.1166/jnn.2017.14439>
- Li, S., Feng, J., Tian, S., Lan, S., Fan, C., Liu, X., & Xiong, Y. (2018). Tuning role and mechanism of paint sludge for characteristics of sewage sludge carbon: Paint sludge as a new macropores forming agent. *Journal of Hazardous Materials*, 344, 657-68. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.11.012>

- Li, W.-H., Yue, Q.-Y., Gao, B.-Y., Wang, X.-J., Qi, J.-F., Zhao, Y.-Q., & Li, Y.-L. (2011). Preparation of sludge-based activated carbon made from paper mill sewage sludge by steam activation for dye wastewater treatment. *Desalination*, 278(1-3): 179-185. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.05.020>
- Möller, K., Oberson, a., Bünemann, E. K., Cooper, J., Friedel, j. K., Glæsner, N., Hörtenhuber, S., Løes, A.-K., Mäder, P., Meyer, G., Müller, T., Symanczik, S., Weissengruber, I., Wollmann, I., & Magid, J. (2018). Improved phosphorus recycling in organic farming: Navigating between constraints. *Advances in Agronomy*, 147, 159-237. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.10.004>
- Molinos Senante, M., Hernández Sancho, F., & Sala Garrido, R. (2010). Funciones de coste para la gestión de residuos de estaciones depuradoras de aguas residuales. *Anales de ASEPUMA*, (18), 514. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6002507>
- Morfil, J. (2021) *Residuos farmacéuticos como precursores de contaminantes emergentes en el recurso hídrico: una revisión de métodos, alternativas de tratamiento e impacto ambiental* [Tesis de bachiller]. Repositorio Universidad de Córdoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/5116>
- Ovín, A., & Concepción, M. (2011). *Depuración de efluentes industriales con carbón activo. Adsorción de contaminantes y regeneración del adsorbente* [Tesis doctoral]. Universidad de Oviedo. <https://digital.csic.es/handle/10261/34359>
- Pérez, A. (2016). *Estudio bibliográfico del uso de lodos de depuradora en suelos agrícolas* [Tesis de grado]. Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/handle/10251/75981>
- Puchana-Rosero, M. J., Adebayo, M. A., Lima, E. C., Machado, F. M., Thue, P. S., Vagheti, J. C. P., Umpierrez, C. S., & Gutterres, M. (2016). Microwave-assisted activated carbon obtained from the sludge of tannery-treatment effluent plant for removal of leather dyes. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 504, 105-115. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2016.05.059>
- Ramya, V., Murugan, D., Lajapathirai, C., Saravanan, P., & Sivasamy, A. (2019). Removal of toxic pollutants using tannery sludge derived mesoporous activated carbon: Experimental and modelling studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(1), 102798. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.11.043>
- Rashed, M. N., Soltan, M. E., Ahmed, M. M., & Abdou, A. N. A. (2018). Heavy metals removal from wastewater by adsorption on modified physically activated sewage sludge. *Archives or Organic and Inorganic Chemical Sciences*, 1(1). DOI 10.32474/AOICS.2018.01.000102

- Rivera-Utrilla, J., Gómez-Pacheco, C. V., Sánchez-Polo, M., López-Peñalver, J. J., & Ocampo-Pérez, R. (2013). Tetracycline removal from water by adsorption/bioadsorption on activated carbons and sludge-derived adsorbents. *Journal of Environmental Management*, 131, 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.09.024>
- Silva, T. L., Ronix, A., Pezoti, O., Souza, L. S., Leandro, P. K. T., Bedin, K. C., Beltrame, K. K., Cazetta, A. L., & Almeida, V. C. (2016). Mesoporous activated carbon from industrial laundry sewage sludge: Adsorption studies of reactive dye Remazol Brilliant Blue R. *Chemical Engineering Journal*, 303, 467-76. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.06.009>
- Templeton, I. L. (2016). *Estudio de pares de trabajo (adsorbente/adsorbato) base carbón activado para aplicaciones en sistemas de enfriamiento* [Tesis de maestría]. Repositorio Institucional del Centro de Investigación en Materiales Avanzados. <http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/914>
- Vila Gordillo, D. E. (2018). *Dimensionamiento de una EDAR para una población de 60.000 habitantes equivalentes* [Tesis de licenciatura]. Universidad de Cádiz. <http://hdl.handle.net/10498/20046>
- Wang, F. Y., Rudolph, V., & Zhu, Z. H. (2008). *Sewage sludge technologies*. Encyclopedia of Ecology. (pp. 3227-3242). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00078-1>
- Wang, X., Gu, L., Zhou, P., Zhu, N., Li, C., Tao, H., Wen, H., & Zhang, D. (2017). Pyrolytic temperature dependent conversion of sewage sludge to carbon catalyst and their performance in persulfate degradation of 2-Naphthol. *Chemical Engineering Journal*, 324, 203-15. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.04.101>
- Wang, W., Qiao, W., Peng, C., & Zhang, Z. Z. (2011) Biogas production from supernatant of hydrothermally treated municipal sludge by upflow anaerobic sludge blanket reactor. *Bioresource Technology* (102), 9904-9991. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.08.037>
- Xu, H., Xiao, T., Chen, C.-H., Li, W., Meyer, C. A., Wu, Q., Wu, D., Cong, L., Zhang, F., Liu, J. S., Brown, M., & Liu, X. S. (2015). Sequence determinants of improved CRISPR sgRNA design. *Genome Research*, 25, 1147-11457. DOI: 10.1101/gr.191452.115.
- Yang, B., Liu, Y., Liang, Q., Chen, M., Ma, L., Li, L., Liu, Q., Tu, W., Lan, D., & Chen, Y. (2019). Evaluation of activated carbon synthesized by one-stage and two-stage co-pyrolysis from sludge and coconut shell. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 170, 722-31. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.130>
- Zhao, X., Wei, Y., Wang, R., Meng, L., Wang, Y., Li, G., Xin, S., & Zhang, K. (2017). Hydrogen generation from alkaline NaBH₄ solution using a dandelion-like Co-Mo-B

catalyst supported on carbon cloth. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(15), 9945-9951. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.12.130>.

Zhou, Y., Liu, Y., Jiang, W., Shao, L., Zhang, L., & Feng, L. (2019). Effects of pyrolysis temperature and addition proportions of corncob on the distribution of products and potential energy recovery during the preparation of sludge activated carbon. *Chemosphere*, 221, 175-83. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.026>

**INGENIERÍA
DE NEGOCIOS**

Business Engineering

CUADRO DE MANDO INTEGRAL EN LA EMPRESA DE SERVICIOS ARPAZ Co.

TITO FRANKLIN ARTEAGA*

Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias
Administrativas y Económicas, Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0003-0151-2756>

RENIER ESQUIVEL GARCÍA

Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias
Administrativas y Económicas, Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-6170-9625>

Recibido: 16 de junio del 2022 / Aceptado: 27 de junio del 2022

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n43.6113>

RESUMEN. El cuadro de mando integral es una herramienta de gestión para la toma de decisiones directivas. Permite la translación de la estrategia de la organización en objetivos concretos y la evaluación de la interrelación entre diferentes indicadores de la organización. En la empresa ARPAZ Co., se observa que la falta de control de los indicadores en diversas perspectivas limita la gestión empresarial. Por ello se requiere aplicar el cuadro de mando integral como herramienta de gestión. Se partió del diagnóstico de la estructura organizacional de la empresa, de los procesos que desarrolla y las formas de toma de decisiones. Luego se definieron las etapas de aplicación en cuanto a las perspectivas financiera, del cliente, de los procesos y la de formación y crecimiento. Luego se procedió a definir los indicadores para los procesos clave de toma de decisiones y las formas que han de medir la eficiencia de las estrategias en la organización. Finalmente fueron promovidos varios procesos internos para obtener mejores resultados derivados de la toma de decisiones. Partiendo de las deficiencias encontradas en la gestión empresarial, se lograron acciones de mejora y objetivos estratégicos alineados a la misión y visión de la organización.

PALABRAS CLAVE: empresa / cuadro de mando integral / estrategias / decisión

* Correos electrónicos en orden de aparición: titoarteaga73@gmail.com; renieresquivel@yahoo.es

BALANCED SCORECARD IN THE SERVICE COMPANY ARPAZ CO.

ABSTRACT. The balanced scorecard is a decision-making management tool. It allows the translation of the organization's strategy into specific objectives and their evaluation by different indicators. The lack of control indicators in the various perspectives' limits management capacity in ARPAZ Co. Therefore, applying the balanced scorecard as a management tool is necessary. We started by diagnosing the organizational structure of the company, its processes, and its decision-making. The application stages were defined in terms of financial, customer, process, training, and growth perspectives. Then we proceeded to define the indicators for the key decision-making processes and how to measure the efficiency of the strategies in the organization. Finally, several internal processes were promoted to obtain better results derived from decision-making. Based on the deficiencies in business management, improvement actions and strategic objectives aligned with the mission and vision of the organization were achieved.

KEY WORDS: company / balanced scorecard / strategies / decision

1. INTRODUCCIÓN

El ámbito empresarial está caracterizado por la incertidumbre, la información diversa e imprecisa, cambios inesperados, elevado nivel competitivo, complementariedad y una creciente necesidad de los clientes, donde se busca obtener, constantemente, niveles de excelencia superiores a través de la mejora continua con el fin de asegurar una posición en el mercado (Estévez Torres, 2019). Una vía para minimizar el impacto de los elementos del entorno en la empresa es a través de la definición de una línea clara de trabajo, vista en la política empresarial de desarrollo.

Toda vez que se cuente con un eficaz proceso de planificación, el mismo que está presente desde los primeros momentos en que se crearon las teorías de las ciencias administrativas, la planificación fue estimada como un proceso clave para la gestión, específicamente la planificación estratégica (Alencastro Guerrero et al., 2020).

La planificación consiste en un proceso que permite establecer las metas y objetivos y elegir los mecanismos apropiados para alcanzarlos. Existen tres tipos de planificación: estratégica, operativa y táctica (Abad-Alvarado, 2019). De manera particular, la planificación estratégica determina la finalidad de la organización y describe un conjunto de metas y objetivos para un periodo de tiempo, con lo cual proporciona una base para la toma de decisiones que permita aprovechar las oportunidades del entorno, transformar las debilidades de la empresa y atenuar las amenazas. Para ello, provee un grupo de elementos que forman el modelo para la definición de la misión, la visión y las estrategias a desarrollar en la empresa.

En este sentido, se avanza en la búsqueda de herramientas para la organización y adaptabilidad de la planificación estratégica en la gestión, como un proceso que recibe, reproduce y organiza información sobre una estrategia holística usada (Alencastro Guerrero, et al., 2020) que requiere una adecuada implementación y control. En ese contexto, y por el propio desarrollo empresarial y científico, aparece la necesidad del término *balanced scorecard* (cuadro de mando integral en español) que refleja el equilibrio entre objetivos a corto y largo plazo, entre medidas financieras y no financieras, entre indicadores previsionales e históricos y entre perspectivas de actuación internas y externas (Kaplan y Norton, 1996).

El cuadro de mando integral (CMI) se convierte en una herramienta de gestión que contribuye a las decisiones directivas porque proporciona información constante en relación con el cumplimiento de los objetivos organizacionales planificados. Es una herramienta eficaz para establecer las estrategias de una organización y para ver si estas están correctamente encaminadas (Carvajal Zambrano et al., 2021). El CMI permite la translación de la estrategia de la organización en objetivos concretos y la evaluación de la interrelación entre los diferentes indicadores; es un enfoque multidimensional que

mide el rendimiento corporativo de una empresa desde cuatro perspectivas: financiera, cliente, procesos internos y aprendizaje-crecimiento (Kaplan y Norton, 1996, 2007). Desarrollado en Harvard por los profesores Robert Kaplan y David Norton en 1992, ha demostrado ser la herramienta más efectiva para enlazar la visión, la misión y la estrategia con cinco medidas de desempeño.

La aplicación del CMI permite traducir la estrategia como una suma de medidas que conectarán la misión y la visión, según se ha comprobado en múltiples estudios. Uno de ellos, el realizado por Abad-Alvarado (2019), incluyó la creación de un mapa para una entidad bancaria en el que se analizaron los objetivos estratégicos desde cuatro perspectivas. Los resultados en los objetivos estratégicos identificados en las perspectivas de aprendizaje y crecimiento permitirían promover sus procesos de trabajo internos, lo que, a su vez, ayudaría a la organización a obtener los resultados deseados en las perspectivas de clientes y finanzas. A su vez, los resultados obtenidos en el proceso de control le posibilitarían adquirir una visión general de las desventajas reales en el proceso de implementación estratégica e iniciarían una línea de actividades correctivas.

Otro caso, la empresa comercial Zuluaga y Soto S.A.S (Angulo Osma, 2018) requería buscar un modelo de seguimiento que cumpliera con las expectativas de la planeación, ejecución, verificación, control y mejora de las variables en su área comercial para la adecuada gestión y la consecución de los objetivos. Por ello, establecieron variables de medición como herramienta de mejora continua, basadas en las perspectivas del CMI para evaluar el comportamiento de los diversos indicadores medidos.

Finalmente, otro de los casos estudiados como antecedente es el de Carvajal Zambrano et al. (2021) quien buscó fortalecer a las empresas comerciales de la ciudad de Bahía de Caráquez (Ecuador) mediante la aplicación de un CMI como estrategia de gestión. De acuerdo con los resultados, las empresas comerciales hasta el momento han cumplido todos los objetivos estratégicos propuestos. La opinión de los consumidores que visitan las empresas comerciales ha sido favorable.

Tal como en los casos encontrados en la literatura, la empresa de servicios ARPAZ Co. carece de una adecuada planificación estratégica y control de gestión, de indicadores sobre sus procesos de venta, mercadeo y producción, lo que impide evaluar su avance; asimismo muestra escasa capacitación de los trabajadores, inadecuado control de la documentación, quejas de los clientes y falta de estabilidad en los inventarios.

Por tanto, en la empresa de servicios ARPAZ Co. se tiene como problema que la falta de control de los indicadores en diversas perspectivas limita la gestión empresarial para la toma de decisiones.

El presente trabajo se propone como objetivo aplicar el cuadro de mando integral como una herramienta de gestión en la empresa de servicios ARPAZ Co.

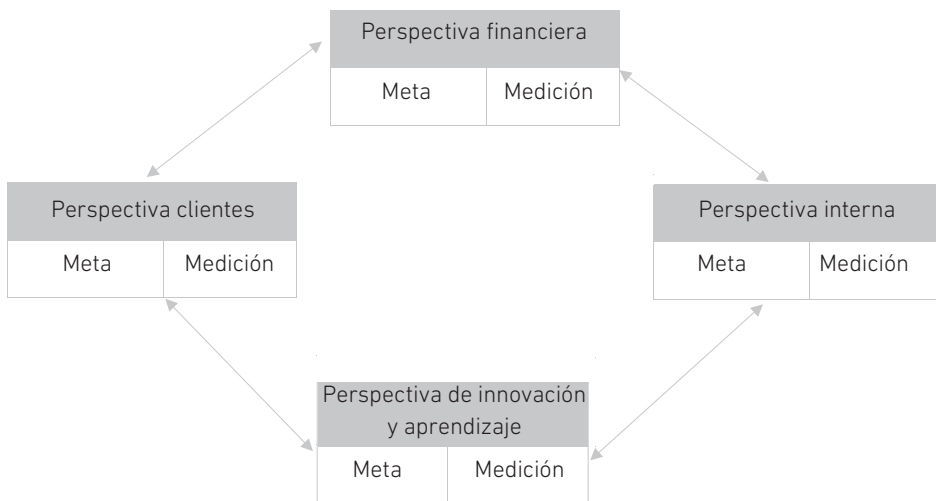
2. METODOLOGIA

La investigación está enmarcada en una perspectiva cuantitativa, de campo, no experimental-descriptiva. En ella se evaluaron las diversas alternativas para definir las estrategias en relación con la misión y la visión y su vínculo o medición con las perspectivas financieras, de clientes, de proceso y de aprendizaje.

El CMI estuvo basado en la teoría propuesta por sus creadores Kaplan y Norton (1996) en la que se integran las cuatro perspectivas del modelo (Figura 1).

Figura 1

Modelo del cuadro de mando integral



Nota. Adaptado de *Cuadro de mando integral en el área comercial: implementación de la metodología de cuadro de mando integral en el área comercial para Zuluaga y Soto*, por Angulo Osma, 2018 [Tesis de licenciatura inédita]. Fundación Universitaria de la Cámara de Comercio de Bogotá.

Conocimiento general de la organización

ARPAZ Co. es una empresa de carácter regional localizada en la ciudad de Chone, provincia de Manabí, Ecuador. Es una empresa familiar que comercializa productos de primera necesidad: aceite y manteca vegetal, leche pasteurizada, café y yogurt, entre otros. La empresa aplica factores diferenciadores en el trato con sus clientes, estos factores son trato personalizado que define características de los productos: rutas, costos, cantidades. Se aplica seguimiento personalizado al cliente para determinar la recepción del producto, el manejo y el almacenamiento.

Al interior de la organización se aplican incentivos a los vendedores; estos consisten en bonos por rendimiento e incremento sostenido de ventas, así como por la compra de otros productos por parte de un mismo cliente.

Como parte del proyecto, se estableció la misión de ARPAZ Co. en los siguientes términos: ARPAZ Co. es una empresa comercializadora de productos comestibles y de primera necesidad, que se distingue por ser innovadora y líder en distribución y comercialización de productos de la canasta básica y que busca la mejora permanente en sus procesos para ser siempre competitiva al tiempo que se compromete con la satisfacción de sus clientes. De igual modo, la visión de la empresa se formuló de la siguiente manera: ARPAZ Co. en el 2024 será un referente en la distribución y entrega eficiente de productos de primera necesidad atendiendo de manera oportuna a cada uno de su colaboradores a ser gestores de cambios positivos en el sector y territorio en el que se desenvuelve la empresa.

Direccionamiento estratégico

Una exitosa dirección estratégica debe contener una definición clara y holística del negocio, de ahí la importancia de realizar un diagnóstico que abarque los factores internos (capacidad directiva, competitiva, financiera, técnica y humana) y externos (económicos, sociales, culturales, tecnológicos, políticos y geográficos) que rodean la organización. Con ello se busca efectuar un análisis profundo de los factores que puedan determinar amenazas y oportunidades al interior de la empresa y, a su vez, un análisis que permita a la organización establecer sus puntos fuertes para aprovecharlos al máximo y reducir o eliminar los puntos débiles que esta presenta a su interior (Peralta et al., 2020).

El direccionamiento estratégico para ARPAZ Co. se ha establecido determinando, en primera instancia, las responsabilidades de la dirección, lo que permite articular el direccionamiento; luego se han establecido los recursos con los que cuenta, se ha planteado un sistema de control y diseñado las medidas que permitan la mejor prestación del servicio.

La implantación estratégica requiere asegurar que la empresa posee adecuados controles estratégicos y diseños organizativos; la empresa debe definir mecanismos de control eficaces y diseños organizativos eficientes (Peralta et al., 2020).

Elementos del direccionamiento estratégico para ARPAZ Co.:

- Responsabilidad de la alta dirección
- Gestión de recursos
- Medición, análisis y mejora
- Sistema de prestación del servicio (ventas y distribución)

Establecimiento de estrategias de la organización

El análisis estratégico consiste en el trabajo previo que debe ser realizado con el fin de formular e implantar eficazmente las estrategias y requiere: analizar los propósitos y objetivos de la organización (misión, visión y objetivos estratégicos); analizar el entorno (oportunidades y amenazas), realizar el análisis interno (fortalezas y debilidades), y valorar los activos intangibles de la empresa (Peralta et al., 2020).

Las estrategias de ARPAZ Co. para ser competitiva en el mercado se han agrupado en diez elementos claramente identificables:

1. Buen servicio: distribuir los mejores productos para satisfacer las necesidades del cliente y el público.
2. Calidad: mejorar la calidad del servicio de manera permanente.
3. Procesos y capacidad de atención: contar con líneas de distribución que permitan aprovechar la capacidad de atención a los clientes al menor costo y con oportunidad.
4. Ubicación de distribuidores: contar con ubicaciones adecuadas para mejorar la atención a los clientes.
5. Diseño de las instalaciones y facilidades en los locales: selección de equipos, materiales que se van a usar en la prestación del servicio.
6. Recurso humano y trato al cliente: incluir a personal adiestrado en la atención oportuna a los clientes.
7. Cadena de proveedores: constante búsqueda de proveedores con líneas premium, que nos provean de los mejores productos para que puedan ser entregados a los clientes.
8. Inventario y almacén: mejorar el proceso de almacenamiento de los productos y contar con suficientes productos para satisfacer la necesidad del cliente.
9. Eficiencia de los procesos: compromiso y eficiencia para entregar los productos.
10. Mantener la calidad del servicio: hacer retroalimentación constante sobre la percepción de los servicios para mantener la calidad del servicio prestado.

La gestión de procesos y la alineación de estrategias

Cada día la gestión por procesos adquiere mayor relevancia en las organizaciones debido a los beneficios que aporta para la planificación, control y mejora de su misión (Rizo-Martí, 2020). En la Figura 2 se observa el alineamiento de los procesos de la empresa con los objetivos estratégicos y las perspectivas del modelo del CMI.

Figura 2

Estrategias para ARPAZ Co.

		Procesos del sistema					
		OBJETIVOS ESTRATÉGICOS					
			Gestión de ventas	Gestión de compras	Gestión de distribución		
					Gestión humana	Gestión financiera	
Perspectivas	Financiera	Incrementar la participación en el mercado nacional en un 12 %	X		X		X
		Incrementar la participación en el mercado de Manabí en un 30 %	X		X		X
		Incrementar la rentabilidad de ARPAZ en un 6 %	X	X			X
	Cliente	Incrementar la calidad de productos y servicios en un 25 %	X		X	X	
	Procesos	Incrementar la competitividad en un 2 %	X		X	X	X
		Elevar la eficiencia en ventas en un 25 %	X	X	X		X
	Aprendizaje y crecimiento	Elevar las competencias del personal en un 85 %			X	X	

3. RESULTADOS

A partir de la propuesta metodológica basada en una serie de pasos y concepciones que hacen identificar los principales lineamientos estratégicos se procede al diseño del CMI para la empresa, partiendo de la alineación de los procesos empresariales con los objetivos y las perspectivas del CMI.

A continuación, en la Tabla 1 se muestra el diagnóstico de la organización a través de un análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas).

Tabla 1*Elementos internos y externos a ARPAZ Co.*

Elementos internos ARPAZ	
Fortalezas	Debilidades
F1 Reconocimiento en el mercado	D1 Direccionamiento estratégico no definido
F2 Tecnología para la comercialización en venta y posventa	D2 Procesos que no cuentan con medición
F3 Personal capacitado	D3 Falta de capacitación y entrenamiento
F4 Productos de buena presencia en el mercado	D4 Falta de marketing
F5 Tiempos y pedidos de entrega óptimos	D5 Personal polifuncional
F6 Incentivos al personal de ventas	D6 Inadecuado control de documentación
F7 Incentivos al cliente	D7 Incumplimiento de stock mínimo y control de inventarios
F8 Relación directa con el cliente	
F9 Exclusividad de marcas	
Elementos externos ARPAZ	
Oportunidades	Amenazas
O1 Nuevos productos	A1 Competencia desleal
O2 Demanda estable en productos de primera necesidad	A2 Limitado acceso a créditos de capital de trabajo
O3 Ampliación de los plazos de pago por los proveedores	A3 Legislación inadecuada
O4 Proveedores aplican políticas de crédito e incentivos por cumplimiento de metas	A4 Inestabilidad económica

La Tabla 1 muestra que la organización cuenta en mayor número con fortalezas, las principales son: el personal capacitado, la exclusividad de marcas que distribuye, los tiempos de pedido-entrega óptimos, los incentivos al cliente y vendedores que generan motivación en las partes.

Las debilidades hacen que ARPAZ Co. limite sus operaciones a ciertos ámbitos; entre estas se mencionan el direccionamiento estratégico no definido, procesos que no se miden ni controlan, la polifuncionalidad del personal y un inadecuado control de la documentación.

Por otra parte, a pesar de la situación económica y las restricciones de movilización generadas por la pandemia, se han identificado oportunidades que se presentan en el mercado. Estas son: demanda estable, proveedores que amplían plazos de pago, proveedores que implementan políticas de crédito por cumplimiento de metas.

Finalmente, las amenazas que se presentan en el mercado son: la competencia desleal, limitado acceso a créditos para establecer capital de trabajo, legislación inadecuada (tributos), inestabilidad económica generalizada. Con la articulación de los elementos internos y externos se podrán establecer estrategias que permitan poner en práctica un direccionamiento estratégico que cambie la situación organizacional (Tabla 2).

Tabla 2

Estrategias de desarrollo

Estrategias ofensivas (F, O)	Estrategias adaptativas (D, O)
Desarrollo de nuevos productos para impulsarlos en nuevos mercados	Implementar sistemas de gestión por procesos
Facilitar la introducción de nuevos productos aprovechando el reconocimiento de la empresa por tener un catálogo exclusivo de marcas	Capacitación del personal en el manejo y colocación de nuevos productos a través de transferencia de conocimiento al interior de la organización
Proyectar la oferta a mayor cantidad de clientes	Priorización de atención a clientes fidelizados
Traslado de incentivos por cumplimiento de metas a personal de ventas y clientes	
Estrategias defensivas (F, O)	Estrategias de supervivencia (D, A)
Mejorar la relación con el cliente final e intermediarios	Ajustar márgenes de ganancia a valores que permitan una adecuada utilidad
Optimización de recursos para incentivos	Atender clientes fidelizados optimizando recursos a base de la experiencia

Definidas las estrategias, es importante conocer el tiempo de implementación, los recursos a utilizar y el modelo de CMI para su control y mejora continua. Con ello las perspectivas quedan alineadas a cada una de las estrategias.

Las perspectivas y las estrategias

Cada una de las perspectivas responde a uno o varios objetivos estratégicos con sus indicadores e índices, la frecuencia, la meta a alcanzar y el proceso de gestión al que tributa (Tabla 3).

Tabla 3*Perspectivas y estrategias*

Perspectivas	Objetivos	Indicador	Índice	Acción estratégica	Frecuencia	Meta	Proceso
Financiera	Incrementar la participación en el mercado nacional en un 12 %	Participación en el mercado nacional	Ventas de la compañía / ventas totales del mercado nacional	Implementación de personalización de productos	Anual	12 %	Gestión de venta, mercadeo, planificación estratégica
	Incrementar la participación en el mercado de Manabí en un 30 %	Participación en el mercado de Manabí	Ventas de la compañía / ventas totales en el mercado de Manabí	Implementación de estrategia puerta a puerta	Anual	30 %	Gestión de venta, mercadeo, planificación estratégica
	Incrementar la rentabilidad de ARPAZ en un 6 %	Rentabilidad de ARPAZ	(Precio de venta - precio de producción) / precio de venta	Clientes cubren el costo del transporte	Trimestral	6 %	Gestión de venta y gestión de producción
Clientes	Incrementar la calidad de productos y servicios en 25 %	Satisfacción de los clientes	Clientes satisfechos / total de clientes	Disminuir reclamos por inconsistencias en la entrega	Semestral	25%	Gestión de venta y gestión de producción
Procesos	Incrementar la competitividad en un 2 %	Aumento de clientes	Clientes nuevos / clientes totales	Innovar de forma permanentemente	Mensual	2 %	Gestión de venta, mercadeo
	Elevar la eficiencia en ventas en un 25 %	Eficiencia	Ventas totales / ventas totales de igual periodo anterior	Aumentar la publicidad de los productos	Anual	25 %	Mercadeo
Aprendizaje y conocimiento	Elevar las competencias del personal en un 85 %	Competencias laborales	Competencias adquiridas / competencias del puesto de trabajo	Capacitar al personal en gestión de venta y producción	Anual	85 %	Talento humano

4. DISCUSIÓN

La metodología utilizada aportó resultados al igual que otros estudios realizados como los de Durán Velásquez (2018).

Las estrategias y las operaciones de la empresa toman relevancia cuando se articulan alrededor de directivos, trabajadores, clientes, accionistas, inversionistas, proveedores, medio ambiente, comunidad, sector público y competidores. La gestión empresarial debe aplicar una visión proactiva y estratégica; promueve el mejoramiento continuo, la innovación y la competitividad y para esto se establece y asigna recursos, por lo tanto, reduce costos, identifica y previene el riesgo; así como detecta oportunidades.

Las empresas deberán realizar las modificaciones y adaptaciones que requieren cada vez más la participación de inversionistas, profesionales, consumidores, proveedores, contratistas, Estado y comunidad en general, puesto que hay mayor conciencia sobre las consecuencias del comportamiento del ser humano en el planeta y, por lo tanto, se exigirá a las empresas, a sus gobiernos y a las personas ser sostenibles para que la biodiversidad también pueda serlo. En ese sentido, la integración entre los elementos principales de la estrategia y su control en perspectivas e indicadores es una gran necesidad en la actualidad.

En la empresa ARPAZ Co. están claramente definidas las estrategias de desarrollo y la vía para su control con el CMI. El aporte de los indicadores que responden a las perspectivas y su relación con los objetivos y las estrategias contribuye no solo a la medición de la gestión sino al control e implementación de la estrategia de desarrollo.

5. CONCLUSIONES

La dirección estratégica para la mejora e innovación en ARPAZ Co. depende en gran manera de los altos niveles jerárquicos. Ellos deberán apropiarse de las herramientas necesarias para la formulación e implementación de la estrategia de dirección. El modelo de dirección planteado facilita a los directivos la socialización de la estrategia, al igual que brinda la oportunidad para que todos los actores involucrados contextualicen lo formulado en las acciones cotidianas, explorando y experimentando a pesar de los riesgos de innovar. Además, al formalizarse el proceso de dirección en la estructura de estas empresas, se genera un mayor compromiso e integración de las diferentes áreas funcionales, con lo que se logra armonizar las actividades de forma que se puedan obtener de manera mancomunada los objetivos propuestos inicialmente.

El cuadro de mando integral, con sus cuatro dimensiones, y cada una de ellas al mismo nivel, forma una composición estructurada en la que se visualiza y evidencia el desempeño de los objetivos de la organización en la búsqueda de cumplir con la planeación estratégica, la visión y control general del desempeño de la organización.

REFERENCIAS

- Abad-Alvarado, J. P. (2019). El cuadro de mando integral aplicado a la planificación estratégica de la banca privada. *Revista Ciencia UNEMI*, 12(29), 20-35. <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/748>
- Alencastro Guerrero, A. P., Castañón Rodríguez, J., Quiñonez Cabeza, M. R., & Egas Moreno, F. (2020). Planificación estratégica para el desarrollo territorial de la Provincia Esmeraldas en Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales*, 26 (3), 130-147.
- Angulo Osma, C. E. (2018). *Cuadro de mando integral en el área comercial: implementación de la metodología de cuadro de mando integral en el área comercial para Zuluaga y Soto* [Tesis de grado]. Fundación Universitaria de la Cámara de Comercio de Bogotá.
- Banerjee, O., Cicowiez, M., Vargas, R., Obst, C., Rojas Cala, J., Alvarez-Espinosa, A. C., Melo, S., Riveros, L., Romero, G., & Sáenz, D. (2021). Gross domestic product alone provides misleading policy guidance for post-conflict land use trajectories in Colombia. *Ecological Economics*, 182, 106929. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106929>
- Carvajal Zambrano, G. V., Velásquez Vera, M. L., Carbache Mora, C. A., & Caicedo Coello, E. A. (2021). Fortalecimiento de las empresas comerciales mediante la aplicación de un cuadro de mando integral. *Journal of Business and Entrepreneurial Studies*, 5(1), 1-14. <https://doi.org/10.37956/jbes.v5i1.154>
- Durán Velásquez, L. (2018). Estrategia de gestión basada en el cuadro de mando integral para la empresa Herramental C.A. ubicada en municipio Iribarren, estado Lara. *Enfoque Disciplinario*, 3(1), 49-71.
- Estévez Torres, A. (2019). *Procedimiento para la planeación de las capacidades de producción. Caso de estudio muebles de habitaciones para el turismo en la UEB Muebles Ludema* [Tesis de maestría]. Universidad de Las Tunas.
- Estévez Torres, A., Megna Alicia, M., Campos Fernández, G. B., Ramírez Camejo, R., & Jardines Rivas, E. (2022). Planeación de las capacidades de producción de una empresa de producción de muebles en Cuba. *Ingeniería Industrial*. 42, 35-55.
- Kaplan, R., & Norton, D. (1996). *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*. Harvard Business School Press.
- Kaplan, R., & Norton, D. (2007). Using the Balanced Scorecard as a strategic management system. *Harvard Business Review*, 85(7), 150. <http://foresightlearning.com.au/wp-content/uploads/2016/08/BalancedScorecard-Article-1.pdf> <https://hbr.org/2007/07/using-the-balanced-scorecard-as-a-strategic-management-system>

- Peralta, M. P., Cervantes, A. V., Salgado, H. S., & Espinoza, P. A. (2020). Dirección estratégica para la innovación en pequeñas y medianas empresas de la ciudad de Barranquilla, Colombia. *Revista Venezolana de Gerencia*, 25(89), 229-239. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29062641016>
- Rangel-Carrillo, A. M., Maestre-Góngora, G. P., & Osorio-Sanabria, M. A. (2020). Principios, lineamientos, dimensiones y atributos para la evaluación de calidad de datos abiertos de gobierno. *Aibi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 8(5), 54-65. <https://doi.org/10.15649/2346030X.950>
- Rizo-Martí, K. (2020). Procedimiento de de mando integral para la gestión de comercialización. *Ciencias Holguín*, 26(4), 16-26. <https://www.redalyc.org/journal/1815/181564620002/181564620002.pdf>

PROYECTOS
EMPRESARIALES INDUSTRIALES
Industrial Business Projects

ANÁLISIS DEL DESARROLLO Y POTENCIAL DE LA ENERGÍA EÓLICA EN EL PERÚ

ANDRÉS GORDILLO VALDEZ*

<https://orcid.org/0000-0002-3108-8506>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Lima, Perú

MATEO MONTOYA GRANDA

<http://orcid.org/0000-0001-8666-9589>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Lima, Perú

PEDRO ARTURO SALINAS PEDEMONTE

<http://orcid.org/0000-0002-7021-1546>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Lima, Perú

Recibido: 18 de julio del 2022 / Aceptado: 26 de agosto del 2022

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n43.6114>

RESUMEN. Este estudio presenta un análisis del potencial para el desarrollo de la energía eólica en el Perú a partir de una revisión sistemática de las investigaciones realizadas en los últimos años, considerando diversas variables e indicadores pertinentes. La investigación fue de tipo exploratorio y explicativo, con un enfoque cualitativo y no experimental. Entre los principales resultados de la investigación, se encontró un número importante de proyectos adjudicados y de parques eólicos en ejecución en el Perú. Asimismo, se pudo identificar la cantidad de energía que se produce y que se puede producir a partir de estos proyectos, el precio promedio de la potencia generada, las zonas aptas para su desarrollo, entre otros. Esto evidencia que el Perú es un país en el que la energía eólica se encuentra en proceso de desarrollo, pero cuyo su potencial no guarda relación con el desarrollo alcanzado en la actualidad.

PALABRAS CLAVE: energía eólica / energía renovable / contaminación ambiental / desarrollo sostenible / potencial eólico / energía en el Perú

* Correos electrónicos en orden de aparición: 20183492@aloe.ulima.edu.pe; 20171001@aloe.ulima.edu.pe; psalinas@ulima.edu.pe

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT AND POTENTIAL OF WIND ENERGY IN PERU

ABSTRACT. This study presents an analysis of the potential for wind energy development in Peru based on a systematic review of the research carried out in recent years, considering various variables and pertinent indicators. The research was exploratory and explanatory, with a qualitative and non-experimental approach. Among the main results of the investigation, a significant number of awarded projects and wind farms in execution in Peru were found. Likewise, it was possible to identify the amount of energy produced and that can be produced from these projects, the average price of the power generated, and the areas suitable for development, among others. All this shows that Peru is a country where wind energy is in the process of development, but its potential is not related to the development achieved today.

KEYWORDS: wind energy / renewable energy / environmental pollution / sustainable development / wind potential / energy in Peru

1. INTRODUCCIÓN

El tema principal del presente trabajo de investigación es el análisis del desarrollo de la energía eólica en el Perú en relación con los aspectos ambientales y económicos y sus respectivos impactos en el mismo. A partir de ese análisis, se buscará determinar el potencial que tiene el Perú para el aprovechamiento continuo del recurso eólico para generar energía limpia y renovable que contribuya con el desarrollo sostenible y la reducción de la contaminación ambiental. Para ello, la presente investigación revisa las investigaciones realizadas en los últimos años en el Perú acerca de la energía eólica para identificar y entender las variables que intervienen en la generación de este tipo de energía. También examinan investigaciones realizadas en países en donde la energía eólica esté considerablemente desarrollada y que tengan información relevante para el presente estudio.

Como objetivos específicos, en primer lugar, se ha planteado examinar los estudios realizados sobre el aprovechamiento de los recursos eólicos para la generación de energía limpia en el país y en otras regiones del mundo. En segundo lugar, se procederá a determinar los impactos económicos y ambientales que trae consigo el desarrollo de la energía eólica y la construcción de parques eólicos en el país, con el propósito de resaltar la importancia y el positivo impacto de desarrollar este tipo de energía renovable en un país en vías de desarrollo. Finalmente, se va a determinar las zonas del Perú con las variables adecuadas para la producción de energía eólica y que se pueden aprovechar sin generar daños en el ecosistema.

La presente investigación está basada en el desarrollo de la energía eólica y sus diversos impactos en la sociedad, los cuales son numerosos y, en su mayoría, positivos. Es por eso que resulta importante comprender, en primer lugar, el concepto de energía renovable, categoría a la cual pertenece este tipo de generación de energía. Este tipo de energía hace referencia a aquella energía que, por su cantidad en relación al consumo que las personas pueden hacer de ella, se considera inagotable y su propio consumo no afecta al medio ambiente (Estrada Gasca, 2013). Algunos ejemplos de fuentes naturales y renovables de energía son el sol, el viento, el agua, el movimiento del mar, entre otros. La participación de las energías renovables disminuye la dependencia de hidrocarburos y otros productos petrolíferos, promueve la diversificación de fuentes propias de suministros y disminuye notablemente la emisión de gases de efecto invernadero. (Vásquez et al., 2017)

Por otro lado, diversos autores como Gárate et al. (2017) sostienen que el desarrollo de las energías renovables, en vistas a su introducción en el sector eléctrico en el contexto global, parece ser un tanto ajeno para el caso del Perú, basándose en la ausencia de voluntad política y atención que se le brinda. Estos autores sostienen que hace falta que los usuarios puedan tener un "rol activo" en la industria energética

mediante la autogeneración, el almacenamiento, el autoconsumo y la venta distribuida de la energía que ellos mismos produzcan.

Asimismo, Quispe y Calderón (2015), mediante su contribución a la búsqueda de energías renovables, sostienen que la matriz energética del Perú está basada altamente en hidrocarburos y otros combustibles fósiles, lo cual resulta perjudicial para el medio ambiente y nace de ahí una creciente preocupación. Es así que la necesidad de utilizar energía eólica aumenta. Sin embargo, se pueden presentar ciertas adversidades al instalar un generador eólico, por ejemplo, una baja velocidad y/o densidad del viento o una imposibilidad técnico-económica, lo cual hará que no se genere la energía deseada. Es por eso que también existen diversos tipos de generadores, los de eje horizontal y vertical, siendo estos primeros los de mayor potencia y utilización, los cuales tienen hélices que atrapan el viento e impulsan el generador eléctrico. Los de eje vertical no necesitan estar frente a la dirección del aire, pero suelen ser más pequeños y generar menos energía. En cuanto a los aerogeneradores horizontales, los cuales están presentes en los molinos que se conocen mayormente a nivel mundial por encontrarse en los parques eólicos, generan electricidad con mayor eficiencia que otros, ya sea por su tamaño como también por el aprovechamiento obtenido a la hora de captar el aire (velocidad y densidad) de la zona en que se encuentran. Mediante las aspas es que se logra recoger la energía cinética del viento, el movimiento es transmitido a través del rotor del molino a la multiplicadora, la que trasmite la energía al generador y a partir de ahí se produce la electricidad (Endesa, 2021).

Gamio Aita (2017) plantea que el país se vuelve altamente vulnerable por la excesiva dependencia del gas natural y de un solo gasoducto, así como también aumenta la contaminación ambiental con la importación del petróleo y derivados. El Perú enfrenta un gran desafío al tener que manejar con sumo cuidado los recursos naturales renovables y no renovables, ya que posee un alto potencial. Si bien el planteamiento del Decreto Legislativo 1002 (Presidencia de la República, 2010), el marco promotor de las energías renovables no convencionales más completo de la región, significó un avance grande para el desarrollo de las energías renovables en el país, este sufre de un progreso sumamente lento. Según Gamio, el Perú podría lograr una matriz energética más diversa y competitiva, con mayor participación del recurso eólico y con una huella de carbono reducida, pero hacen falta mejores decisiones políticas y más empoderamiento de los usuarios.

Los diversos conceptos por definir y tratar son los que se encuentran presentes en el título de esta investigación y se analizarán a continuación como parte del marco conceptual del estudio. En primer lugar, está el término desarrollo, concepto asumido como el proceso gradual, continuo y acumulativo de crecimiento. Vinculado al presente estudio, es concebido como un proceso de cambio social, cuyo principal objetivo es la igualdad de oportunidades sociales y económicas en relación con otras sociedades más avanzadas

(Mujica y Rincón, 2010).

Por otro lado, existe el término *energía*, un concepto sumamente amplio que puede entenderse de diversas maneras, pero se definirá guardando relación con el presente estudio. Según Zemansky y Freedman (2013), el término energía surge del principio de conservación de la energía, el cual señala que la energía es una entidad que se puede convertir de una forma a otra, pero que no se crea ni se destruye. Esto quiere decir, que la energía total en distintas formas no cambia. En el motor de un auto, la energía química almacenada se transforma en calor o energía térmica y principalmente en energía cinética presente en el movimiento del auto. Por último, esta se degrada, es decir, pierde su capacidad para transmitirse en forma de trabajo útil. Solo una parte de la energía transformada es la que produce trabajo. A partir de lo mencionado es que surge la definición de la energía: la capacidad de hacer trabajo, dado que la energía degradada no se puede utilizar nuevamente para poder obtener este (González, 2006).

En la misma línea de la energía, ahora resulta indispensable hablar acerca de la energía eólica, la principal a tratar en este artículo y en la que se pondrá énfasis a lo largo del presente trabajo. Según Schmerler et al. (2019), la energía eólica es aquella que se obtiene del viento y se produce por medio de la diferencia de temperaturas entre diferentes zonas geográficas. Esta energía de tipo cinético generada por el viento es transformada en energía eléctrica o mecánica. La energía eólica se obtiene a partir de máquinas llamadas aerogeneradores o turbinas eólicas, junto con aspas unidas por un eje giratorio, movidas por el aire, las cuales se encargan de transformar la energía del viento. La energía eólica es la fuente de energía renovable que ha presentado un mayor avance tecnológico en los últimos años. Es por ello que se viene dando un aumento de la eficiencia en la generación de electricidad a partir de los aerogeneradores, una disminución de costos y precios y un mayor impacto en el medio ambiente. Se dice que un aerogenerador moderno instalado de 1 MW puede reducir 2000 toneladas de dióxido de carbono anuales de otras fuentes de generación de energía eléctrica, y es ahí donde se evidencia la alta competitividad de este tipo de energía. (Chou et al., 2017)

Resulta importante, además, tener en cuenta el estado del medio ambiente en el Perú y en el mundo para comprender la necesidad del cambio en la matriz energética. Según Naciones Unidas (2021), en los próximos veinte años, la temperatura global aumentará en 1,5 °C. Este incremento en los niveles generales de la temperatura del planeta traerá consigo olas de calor, un aumento en las temperaturas de las estaciones cálidas y una disminución en las frías, cambios en la humedad y la sequedad, en los vientos, inundaciones, entre otros. Muchos gobiernos están tomando medidas, en especial los países más desarrollados como Alemania, Inglaterra, Francia, Canadá, entre otros, los que se han propuesto que para el año 2050 la generación energética en

sus países sea en su mayoría amigable con el medio ambiente y con cero emisiones de gases de efecto invernadero.

El gobierno peruano se enfrenta al desafío de reducir la generación de gases de efecto invernadero. Según el Ministerio del Ambiente (2021), para el año 2030 se busca reducir las emisiones en un 40 %. La reducción de la emisión de gases contaminantes contribuirá a combatir el cambio climático. Cabe recalcar que, además de las medidas y sanciones que deben establecer las entidades públicas nacionales contra los efectos nocivos de las actividades extractivas e industriales, el gobierno debe buscar reducir considerablemente la generación de gases contaminantes provenientes de los automóviles y de la producción de energía. Para combatir la contaminación de los automóviles, el Estado debe mejorar las condiciones del transporte público y a su vez sustituir las unidades actuales por vehículos eléctricos. Sin embargo, esta labor tomaría mucho tiempo y dinero. Por otro lado, para corregir la matriz energética, se debe pasar de generar energía a través de combustibles fósiles a energía mediante la utilización de recursos renovables y la energía eólica es una de las principales candidatas para una potencial generación de este tipo de energía. Según Gamio Aita (2017), el Perú depende en un 72 % de los hidrocarburos para generar energía eléctrica. Se tiene una alta dependencia del gas natural como principal combustible fósil. Sin embargo, se tiene un gran potencial para la generación de energía renovable. Ruiz y Mimbela (2021) mencionan que, en el Perú, a pesar de tener un alto potencial para la generación de energía renovable, este no ha sido aprovechado. Para el caso de la energía hidroeléctrica, solo se usa el 7,5 % del potencial total; para las fuentes eólica y solar, el porcentaje de aprovechamiento es menor al 1 % en ambos casos.

Se puede apreciar, entonces, que el Perú tiene un potencial sumamente alto para generar energía renovable. Casi el 30 % de la energía es limpia y solo es generada usando menos del 10 % del potencial hidroeléctrico. Hay una muy buena oportunidad de desarrollo en las diversas fuentes de energía renovable y en el presente artículo, como ya se mencionó anteriormente, vamos a examinar las investigaciones y estudios realizados al respecto en los últimos cinco años para ver cómo se ha trabajado la energía eólica en el Perú, qué beneficios ha traído y qué mejoras podría traer al país si se pone énfasis en su desarrollo.

2. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el presente estudio se utilizó como método la revisión sistemática de literatura. El alcance del presente trabajo de investigación es considerado de dos tipos; en primer lugar es exploratorio, pues recopila diferentes artículos científicos, artículos de revistas y libros para obtener conocimiento acerca de la energía eólica y así poder analizar su desarrollo y potencial en el país. En segundo lugar, es explicativo, es decir, busca determinar las variables que influyen sobre el tema de investigación con el fin de explicar cómo se relacionan entre ellas.

El enfoque del presente estudio es cualitativo, con un paradigma crítico, ya que se busca estudiar las realidades de la energía eólica con el fin de describirlas y comprenderlas. En base a la información recolectada a partir de las fuentes bibliográficas, se busca realizar construcciones teóricas. Con referencia al tipo de la investigación, se considera que es de tipo no experimental, dado que se realizará un análisis causa-efecto, sin medición alguna sobre las causas. Específicamente, se llevará a cabo un diseño transversal, ya que se analizará el desarrollo de la energía eólica, así como sus variables, en un momento determinado del tiempo y su impacto en el ambiente, sociedad y economía.

Para la obtención y selección de los artículos incluidos en el presente estudio se establecieron diversos criterios de inclusión, tales como el uso de artículos científicos que explicitan palabras clave como *energía eólica* en el título o resumen, estudios elaborados que detallen el desarrollo de la energía eólica en los últimos años, artículos científicos desarrollados que mencionen los impactos de la energía eólica (y otras energías renovables) en el medio ambiente y/u otros ámbitos, estudios que mencionen el potencial de las zonas en donde se ve un creciente desarrollo de la energía eólica, estudios elaborados en América Latina, Europa o Asia que puedan servir como marco de referencia para el aprovechamiento del recurso eólico para generar energía y sus implicancias, fuentes bibliográficas presentes en línea, en bases de datos con lectura completa y con libre acceso y fuentes bibliográficas con no más de cinco años de antigüedad.

Para la búsqueda de los artículos, se utilizaron las bases de datos de ProQuest, Scopus, Alicia, Ebsco, Google Académico y el repositorio de la Universidad de Lima. Las palabras clave utilizadas fueron *energía eólica*, *energía renovable*, *calentamiento global* y *desarrollo sostenible*. Según las posibilidades de las bases de datos utilizadas, se aplicaron filtros como tipo de documento, palabras clave, idioma y año. La búsqueda de artículos y fuentes se llevó a cabo considerando que las palabras clave principales *energía eólica* estuvieran presentes en el título o en el resumen de las fuentes. Dicho esto, cada base de datos presentó distintas cantidades de resultados, arrojando en su mayoría más de cuarenta documentos. Después de revisar los resultados, se excluyeron aquellos estudios que no cumplían con los criterios descritos previamente. Es así que, después de escoger las fuentes que serían de utilidad para el presente estudio, se obtuvo un total de veinte fuentes, entre artículos científicos, de revistas, libros, reportes y trabajos de investigación.

Para el análisis de resultados, se llevó a cabo el análisis de diversos indicadores como número de parques eólicos en operación, energía producida, precio de la energía eólica subastada, cantidad de políticas energéticas favorables, entre otros; con el fin de determinar el potencial que tiene el Perú para el aprovechamiento continuo del recurso eólico para generar energía limpia y renovable.

3. RESULTADOS

En el presente apartado se revisará y analizará la información obtenida en las fuentes identificadas que dan lugar a los resultados de los indicadores previamente definidos. Se iniciará la mención de los resultados mostrando los datos expuestos en el *Atlas eólico del Perú* publicado por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) en el año 2016. De este informe se extrajeron las tablas y gráficas más importantes.

En primer lugar, se presentarán los resultados vinculados con los avances que se han venido dando en el Perú en los últimos años. Se obtuvo la información respecto a los parques eólicos que se encuentran operando actualmente en el país. Estos se encuentran en los departamentos de Ica, La Libertad y Piura.

Tabla 1

Parques eólicos en operación en el Perú

Parque eólico	Potencia instalada	Departamento
PE. Marcona	32 MW	Ica
PE. Cupisnique	80 MW	La Libertad
PE. Talara	30 MW	Piura
PE. Tres Hermanas	97 MW	Ica

Nota. De Ministerio de Energía y Minas (2016).

Como se puede ver, los cuatro parques eólicos que hay en funcionamiento en el Perú suman un total de 239 MW de potencia instalada. Los departamentos en los que se encuentran ubicados pertenecen a la costa del país.

En la Tabla 2, se exponen los proyectos adjudicados por el MINEM para su desarrollo (Ministerio de Energía y Minas, 2016). Se trata de parques eólicos que podrán desarrollarse en los departamentos de Ica y Cajamarca.

Tabla 2

Parques eólicos adjudicados en la cuarta subasta de suministro de electricidad con recursos energéticos renovables (RER) al Sistema Eléctrico Interconectado (SEIN)

Parque eólico	Potencia instalada	Departamento
PE. Parque Nazca	126 MW	Ica
PE. Huambos	18 MW	Cajamarca
PE. Duna	18 MW	Cajamarca

Nota. De Ministerio de Energía y Minas (2016).

Cabe recalcar que los parques eólicos en mención ya se encuentran instalados y operativos en la actualidad, lo cual indica que los proyectos adjudicados fueron concluidos de manera exitosa. Como se puede observar en la tabla, en estos tres proyectos se sumaría una potencia total instalada de 162 MW.

Respecto a información acerca de las subastas de recursos eólicos, en la Tabla 3 se indica el precio monómico de la energía eólica subastada en cada proyecto de cada parque eólico.

Tabla 3

Características técnicas y económicas de los proyectos RER adjudicados

Proyecto	Potencia central (MW)	Precio monómico (US\$/MWh)	Fecha subasta	Inversión estimada (MM US\$)
Marcona	32,0	65,50	2009	43,6
Cupisnique	80,0	85,00	2009	242,4
Talara	30,0	87,00	2009	101,2
Tres Hermanas	90,0	69,00	2011	180,0
Parque Nazca	126,0	37,83	2016	-
Huambos	18,0	36,84	2016	-
Duna	18,0	37,49	2016	-

Nota. De Vásquez et al. (2017).

Los resultados evidencian que ha habido una disminución en el precio por MWh con el pasar de los años y conforme los proyectos adjudicados han sido llevados a cabo. El parque eólico Nazca, teniendo una potencia central considerable, logró obtener un precio dentro del menor rango de precio monómico.

Según Vásquez et al. (2017), durante las cuatro subastas RER llevadas a cabo desde el año 2008 se han adjudicado 64 proyectos equivalentes a 1274 MW. La inversión estimada de las primeras tres subastas alcanza los US\$ 1957 millones, de los cuales aproximadamente US\$ 567 millones pertenecen a la energía eólica. Se cuenta con una capacidad adjudicada de 401 MW pertenecientes a siete proyectos que a la fecha ya han sido concluidos y se encuentran operando.

En la Tabla 4 se muestra el potencial eólico en el Perú a 100 metros de altura según el *Atlas eólico del Perú*. Cabe resaltar, que de las tres columnas referidas al potencial, solo se tendrá en cuenta la de potencial eólico aprovechable, ya que la del potencial eólico excluido señala aquella energía que se podría generar en zonas de difícil acceso y/o donde no se puede realizar construcciones y proyectos de gran envergadura, como en el caso de reservas naturales, parques nacionales, sitios arqueológicos, entre otros.

Tabla 4

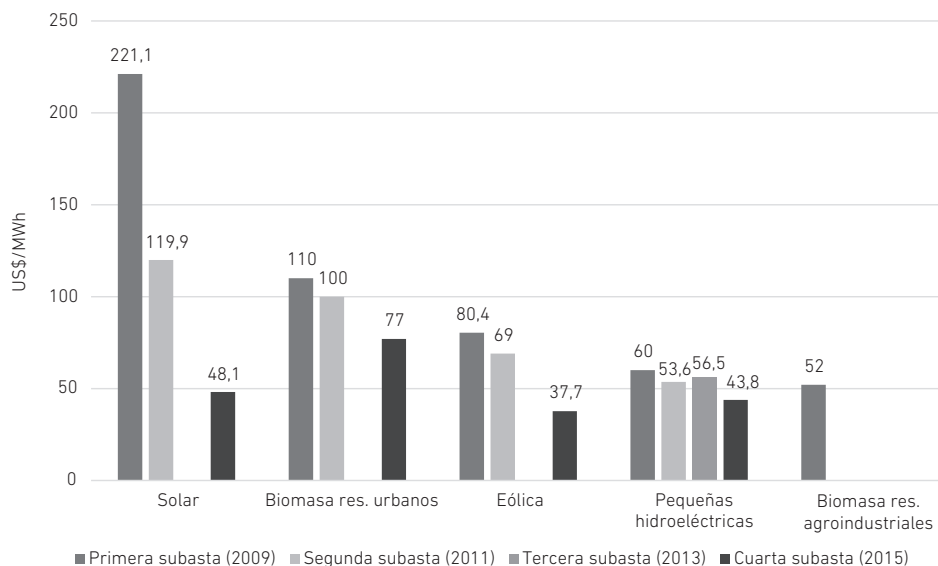
Potencial eólico (MW) en el Perú (sobre los 100 m) por departamento

Departamento	Potencial eólico aprovechable (MW)	Potencial eólico excluido (MW)	Potencial eólico total (MW)
Amazonas	129	288	417
Áncash	708	108	816
Apurímac	0	0	0
Arequipa	1020	156	1176
Ayacucho	0	0	0
Cajamarca	891	282	1173
Callao	0	0	0
Cuzco	0	0	0
Huancavelica	0	0	0
Huánuco	0	0	0
Ica	2280	3015	5295
Junín	0	0	0
La Libertad	921	264	1185
Lambayeque	7017	2097	9114
Lima	429	189	618
Loreto	0	0	0
Madre de Dios	0	0	0
Moquegua	0	0	0
Pasco	0	0	0
Piura	7098	1503	8601
Puno	0	0	0
San Martín	0	0	0
Tacna	0	0	0
Tumbes	0	0	0
Ucayali	0	0	0
Total	20 493	7902	28 395

Nota. De Ministerio de Energía y Minas (2016).

Los departamentos con mayor potencial eólico aprovechable a 100 metros son Lambayeque y Piura con 7017 MW y 7098 MW respectivamente. Se observa además que, de 28 395 MW disponibles, se pueden aprovechar 20 493 MW, lo que representa un 72,17 % del total.

En la Figura 1 se pueden apreciar los resultados de las cuatro subastas RER en cuanto a los precios promedio de los proyectos adjudicados.

Figura 1*Precios promedio de los proyectos adjudicados*

Nota. De Vásquez et al. (2017).

Se puede apreciar que la energía eólica tuvo como resultado una importante disminución del precio promedio por MWh, desde la ejecución de la primera subasta, realizada en el 2009, hasta la cuarta, llevada a cabo en el 2015. Pasó de valer 80,4 \$/MWh en 2009 a 37,7 \$/MWh en 2015. Con miras a mejorar la competitividad de la industria eléctrica en el Perú y cumplir con objetivos ambientales definidos, resulta crítico contar con un empleo de energías renovables competitivo, comparándolo con las experiencias de otros países más desarrollados en este rubro; en esa comparación, el precio de la energía resulta ser un factor importante.

Vásquez et al. (2017) mencionan en uno de sus estudios los beneficios que ofrece el gobierno peruano a aquellas empresas que opten por realizar proyectos que utilicen los recursos energéticos renovables. Entre los beneficios mencionados, el gobierno promete, tal como lo establece el Decreto Legislativo 1002 (Presidencia de la República, 2010), brindar a los generadores garantías para que tengan acceso a las redes eléctricas, dar prioridad en el despacho de energía y otorgar también garantías sobre el precio que percibirán en los 20 años de vigencia del proyecto, cuando estos sean adjudicados en las subastas de contratos de generación eléctrica mediante RER. Por otro lado, el gobierno ha establecido un esquema de devolución de impuestos en los proyectos de recursos energéticos renovables. Asimismo, ha propuesto un mecanismo de depreciación de hasta 20 % de todos los gastos de inversión que asuma la empresa en maquinaria, equipo y obra civil, que

contribuyen a la determinación de la base imponible. Además, los generadores cuentan con un beneficio de devolución del IGV y una garantía sobre sus ingresos anuales que es financiada con el pago de los consumidores de electricidad en el Perú.

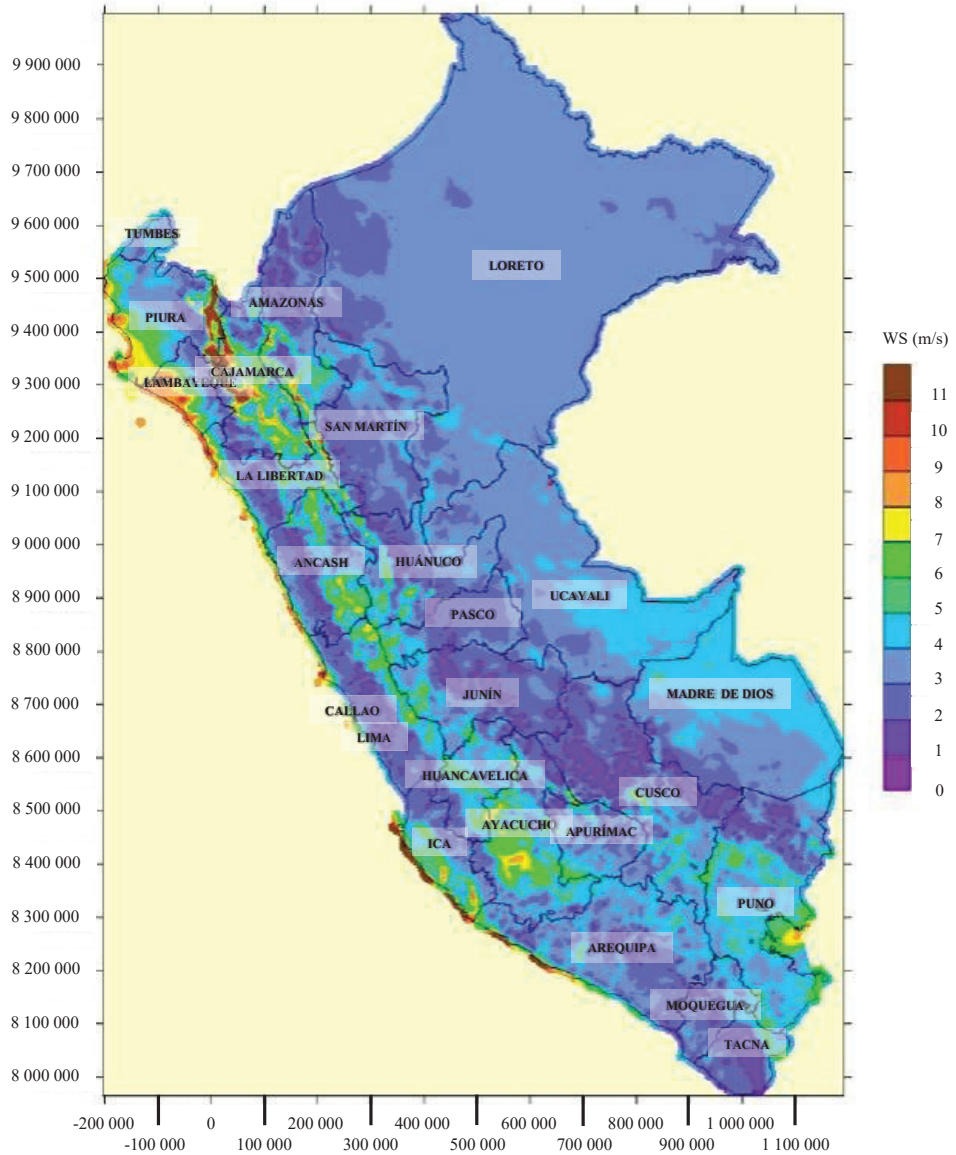
Asimismo, el Perú cuenta con un Marco Normativo de RER que incluye tres decretos y una resolución ministerial, detallados a continuación:

- Decreto Legislativo 1002. Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables (Presidencia de la República, 2010).
- Decreto Supremo 012-2011-EM. Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2011).
- Decreto Supremo 020-2013-EM. Reglamento para la promoción de la inversión eléctrica en áreas no conectadas a red (*off-grid*) (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2013).
- Resolución Ministerial 203-2013-MEM/DM. Plan de acceso universal a la energía (Ministerio del Ambiente, 2013).

El detalle y la aplicación de las mencionadas normas evidencia que el Perú vela por fomentar el empleo de las energías renovables para la generación de electricidad en el país. Tanto es así que, en el año 2008, el desarrollo de proyectos de generación con RER se inició, justamente con la emisión del marco normativo detallado previamente, introduciendo el mecanismo de subastas para la promoción de inversiones privadas y la adjudicación de proyectos. Respecto del potencial del país para la generación de energía eólica, en la Figura 2 se observa la velocidad media anual del viento a una altura de 100 metros.

Figura 2

Mapa de velocidad media anual del viento a 100 m



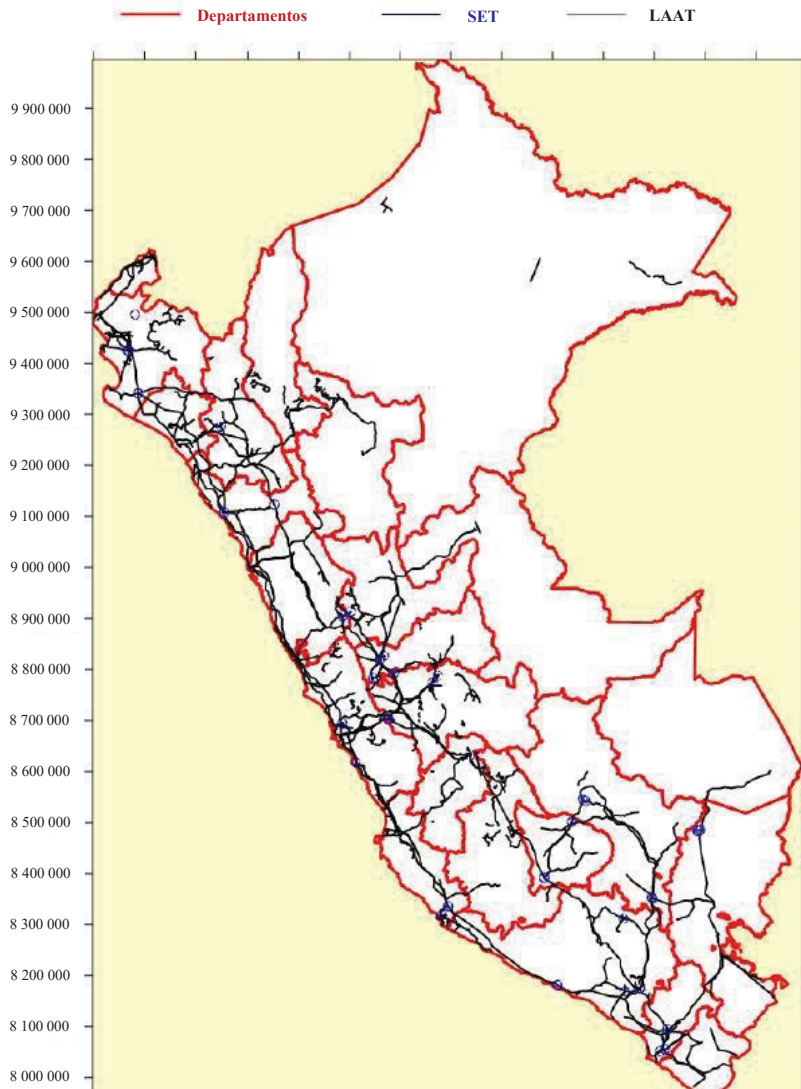
Nota. De Ministerio de Energía y Minas (2016).

Como se observa en el mapa, la zona con mayor velocidad media anual del viento a 100 metros es la costa. En esta predominan los departamentos de Piura, Lambayeque, La Libertad, Áncash, Lima, Ica y Arequipa. Para el caso de la sierra, no se muestra una

velocidad media anual del viento que sea significativa, con excepción del departamento de Cajamarca. A partir de la Figura 2, se evidencia que se trata de nueve departamentos los que poseen un considerable potencial para la generación de energía eólica y que la mayoría están localizados en la costa del Perú.

Figura 3

Mapa de las principales subestaciones eléctricas (SET) y líneas de alta tensión (LAAT) del Perú

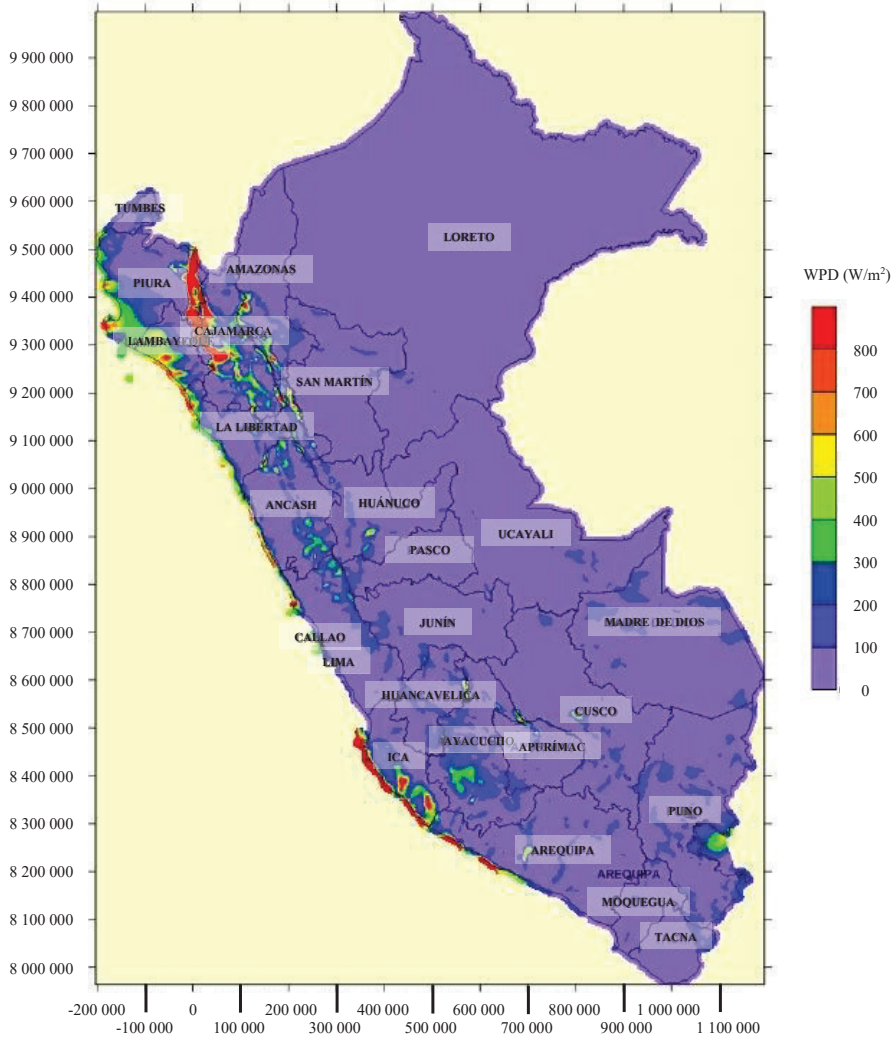


Nota. De Ministerio de Energía y Minas (2016).

En la Figura 3, se observa que las líneas de alta tensión y las subestaciones se encuentran en su mayoría en la costa peruana. De la misma manera hay una fuerte presencia en la sierra. La selva casi no tiene líneas eléctricas y eso se debe, probablemente, a la geografía de la región.

Figura 4

Mapa de densidad de potencia media anual a 100 m



Nota. De Ministerio de Energía y Minas (2016)

De acuerdo con el mapa de la Figura 4, la mayor densidad de potencia media anual a 100 m se encuentra en la zona costera y desértica de Ica y en la parte de la sierra de Piura y en el departamento de Cajamarca. Sin embargo, la tabla de clasificación de la densidad de potencia del viento mostrada a continuación nos dice que a partir de 500 W/m², el recurso ya es excelente y a partir de 400 W/m² ya es bueno. A partir de esta información, se puede incluir a los departamentos de Piura y Lambayeque entre las zonas potenciales para desarrollo, junto con las zonas costeras de La Libertad, Áncash y Arequipa.

Tabla 5

Clasificación de la densidad de potencia del viento

Clase de potencia del viento	Clasificación del potencial del recurso	Densidad de potencia (W/m ²)
1	Pobre	0 - 200
2	Escaso	200 - 300
3	Moderado	300 - 400
4	Bueno	400 - 500
5	Excelente 1	500 - 600
6	Excelente 2	600 - 800
7	Excelente 3	> 800

Nota. De Ministerio de Energía y Minas (2016)

4. DISCUSIÓN

Al inicio de este estudio, se planteó como finalidad analizar el potencial que posee el Perú para el desarrollo de la energía eólica, a través de la revisión sistemática de investigaciones y artículos que evidenciaran los impactos ambientales y económicos, así como la capacidad que se tiene para generar energía limpia. Entre los principales resultados que encontramos en las investigaciones revisadas, se cuenta un número importante de proyectos adjudicados y de parques eólicos en ejecución en el Perú. Asimismo, se pudo identificar la cantidad de energía que se produce y que se puede producir, el precio promedio, las zonas aptas para el desarrollo de la generación eólica de electricidad, entre otros indicadores. Es a través de esta información que podemos afirmar que el Perú es un país con un alto potencial y una gran oportunidad para el desarrollo de energía eólica lo que se explica a continuación.

De acuerdo con la información recopilada del *Atlas eólico del Perú*, se tenían cuatro parques eólicos en operación y tres en desarrollo, pero como ya se mencionó anteriormente, y como lo señala el sitio web del Gobierno del Perú (2021), hoy en día ya se encuentran en operación las siete centrales eólicas, que generan energía limpia para atender la demanda nacional y con una potencia nominal de 401 MW. Por otro lado,

según el *Atlas eólico del Perú*, para el año 2015 se sabía que existían 433 GW (sabiendo que 1 GW equivale a 1,000 MW) de potencia nominal en las centrales eólicas operativas en todo el mundo. China contaba con 145 GW, Estados Unidos con 74 GW y Alemania con 45 GW de potencia nominal instalada. De la misma manera, el *Atlas eólico del Perú* señala que Brasil, la mayor potencia económica de América del Sur, para aquel año contaba con 8700 MW instalados en parques eólicos. Como se hace evidente, la cantidad de energía eólica que se puede generar en el Perú con la infraestructura desarrollada hasta el año 2022 es significativamente inferior, comparándola con Brasil y los otros países mencionados. Sin embargo, de acuerdo con la tabla de potencial eólico aprovechable en el Perú, la geografía peruana permite desarrollar centrales eólicas que pueden llegar a generar casi 21 000 MW de energía en todo el territorio. De acuerdo con Tamayo et al. (2017) en el año 2015 se tenía una potencia instalada de 4152 MW en centrales hidroeléctricas y 7701 MW en centrales térmicas. El potencial aprovechable de energía eólica es mayor a la suma de ambos y tan solo con el potencial de los departamentos de Arequipa, Ica, Lambayeque y Piura, se puede instalar una potencia de 17 415 MW. Esto resulta positivo y es indicador de que en el Perú se pueden desarrollar proyectos eólicos que tengan un alto impacto ambiental, aumenten la competitividad del país respecto a la generación de energías renovables y también den energía limpia a las distintas comunidades a lo largo del país.

Otro aspecto que cabe resaltar es respecto a las zonas donde se encuentra este potencial aprovechable. Según el Ministerio del Ambiente (2019) el Perú es un país que tiene una gran variedad de regiones como la selva tropical, la yunga, la región andina y costera. De acuerdo con el mapa de velocidad media anual del viento a 100 metros de altura y el mapa de densidad de potencia anual, los departamentos con mayor potencial eólico aprovechable son Piura, Lambayeque, Ica, Áncash, La Libertad y Arequipa; y la región en esos departamentos donde se encuentran esos vientos es la costera, con velocidades que llegan a superar los 7 m/s y con densidades superiores a 400 W/m² (Ministerio de Energía y Minas, 2016). Por otro lado, el mapa de las principales subestaciones y líneas de transmisión de energía, demuestra que en la costa se cuenta con la infraestructura adecuada para la transmisión y gestión de la energía (Ministerio de Energía y Minas, 2016). Esto resulta ventajoso, no solo por el potencial para generar energía y la infraestructura eléctrica, sino también porque, según Colmenares-Quintero et al. (2020), las comunidades que han tenido una mayor educación y que cuentan con más acceso a información tienen una tendencia más alta hacia la aceptación de los proyectos de energía renovable que se incorporan en la geografía de la región. Dicho esto, la región costera del Perú es la más desarrollada e integrada con el mundo moderno, lo que significa una ventaja hacia la aceptación por parte de la sociedad de proyectos RER. No obstante, el artículo señala también que las centrales de energía solar, biomasa e hidroeléctricas tienen un grado de aceptación superior a los parques

eólicos, pero una ventaja que traen consigo los altos vientos en la costa es que no resulta necesario instalar las centrales eólicas en tierra, sino que se pueden desarrollar en el mar, fuera de la costa. Según Kühn et al. (2022) los parques eólicos *offshore* (fuera de la costa), a diferencia de las centrales de energía solar, funcionan de noche y, a diferencia de los parques eólicos *onshore* (en la costa), generan menos descontento en la población al no suponer una contaminación visual debido a la lejanía en la que se encuentran. Esto resulta beneficioso y da la oportunidad para aprovechar el potencial de la región costera del Perú para desarrollar proyectos eólicos. Kühn et al. (2022) señalan además que la única desventaja de las centrales eólicas *offshore* es que requieren de una mayor inversión, ya que se debe desarrollar la infraestructura para que las turbinas funcionen en el mar, ya sea anclándolas o mediante mecanismos de flotación y, además, se tiene que instalar un sistema submarino de transmisión de energía. Pero como evidencia el mapa de vías de comunicación, la costa cuenta con una red vial amplia y con una buena cantidad de puertos, lo que facilitaría las operaciones para el desarrollo y funcionamiento de las centrales eólicas costeras (Ministerio de Energía y Minas, 2016).

Otro aspecto que mencionar es el precio promedio de la energía de los proyectos adjudicados. Como se vio en la sección de resultados, este ha disminuido y no solo para los de generación de energía eólica, sino para todos los proyectos RER. De acuerdo con Taylor et al. (2020) la generación de energía renovable es más barata que la generación de energía a través de combustibles fósiles y la disminución en los precios de la energía renovable subastada se debe a una mejora en la eficiencia de las tecnologías, que permiten generar más energía a un precio similar o menor. Asimismo, se cuenta con cadenas de suministro más competitivas y metodologías más eficientes, producto de la experiencia que tienen las empresas desarrolladoras. Esta disminución en los precios de las subastas implica una disminución en los costos de inversión, producto de mejores tecnologías y metodologías más eficientes.

Por último, de acuerdo con Vásquez et al. (2017), se realizó una inversión total de 567,2 millones de dólares en los parques eólicos de Marcona, Cupisnique, Talara y Tres Hermanas. Los proyectos eólicos *onshore* y *offshore* que se podrían realizar en los siguientes años van a necesitar una inversión de varios miles de millones de dólares. Hoy en día, debido a la crisis sociopolítica que atraviesa el Perú, hay un alto riesgo en invertir y principalmente en este tipo de proyectos que tienen muchas partes interesadas. Además, el alza en los precios de los combustibles por el embargo estadounidense a Rusia como sanción por la guerra en Ucrania genera una dificultad para llevar a cabo proyectos RER, ya que el precio para transportar equipos, materiales y capital humano es mayor que antes. A pesar de ello, el gobierno peruano ha dispuesto decretos y resoluciones que favorecen el desarrollo de proyectos RER. Estos dan garantías a los generadores para tener un acceso a las redes de transmisión de electricidad, prioridad en el despacho de energía frente a las centrales de generación que utilizan combustibles fósiles y precios

estables para la venta de la energía. Si bien el panorama para el planeamiento, inversión y construcción de un parque eólico es complicado, existen leyes que protegen a las empresas generadoras y que permiten la generación de utilidades y un retorno de la inversión a largo plazo. Existen, además, esquemas de devolución de impuestos, mecanismos de depreciación de los gastos en inversión en maquinaria, equipo y obra civil, beneficios de devolución de IGV y garantías sobre los ingresos anuales. Como se mencionó, si bien existe un alto riesgo para implementar proyectos RER en el Perú y se requiere de grandes inversiones, hay leyes que benefician a las empresas que llevan a cabo estos proyectos y que garantizan un retorno a largo plazo de la inversión. Además, con mejores tecnologías, métodos de trabajo que disminuyen los costos y con un sistema de generación de energía más estable, enfocarse en el desarrollo de energía eólica resulta una opción viable para producir energía amigable con el medio ambiente y que permite una disminución en la contaminación ambiental y, por ende, una mejora en la calidad de vida de las personas.

5. CONCLUSIONES

En primer lugar, fue posible llevar a cabo un análisis exhaustivo acerca del desarrollo y el potencial de la energía eólica en el Perú, a partir de estudios realizados en diferentes regiones sobre este tipo de energía y otros tipos de recursos energéticos renovables. Se pudo evidenciar que el Perú vela por el aprovechamiento de las energías renovables y su desarrollo. Sin embargo, falta mucho camino por recorrer, ya que el potencial que posee el país para la elaboración de proyectos que desarrollen e impulsen este tipo de energías es considerable, como se evidenció con el potencial eólico, y le hacen un bien al medio ambiente con la reducción de la contaminación.

Asimismo, se pudo identificar los impactos ambientales y económicos que trae consigo el desarrollo de la energía eólica. Reducción de gases de efecto invernadero y de la dependencia de combustibles fósiles, costos más bajos de la energía renovable en comparación con la energía generada por combustibles fósiles son solo algunos de los numerosos impactos positivos obtenidos a partir del desarrollo de las energías renovables. En un país como el Perú, el cual se encuentra aún en vías de desarrollo, resulta primordial ejecutar proyectos RER para seguir aumentando estos impactos positivos y mejorar la competitividad del SEIN frente a otras regiones del continente y del mundo.

El Perú es un país con alto potencial para el desarrollo de la energía eólica, no solo por su extensión y por las políticas que se tienen para el incentivo de este, sino también porque la geografía y las características de los diversos climas del país contribuyen a que las zonas donde es totalmente factible y posible la construcción de un parque eólico sean numerosas, especialmente en la costa. Es así que se puede concluir finalmente que el Perú es un país en el que, si bien se posee de igual manera ciertas dificultades

políticas y sociales, se tienen las condiciones óptimas que facilitarían y permitirían el desarrollo de la energía eólica, teniendo un impacto positivo en la calidad de vida de las personas.

REFERENCIAS

- Chou, D. C. R., Martínez, I. K. E., & Ramírez, M. R. (2017). Energía eólica y aerogeneradores: estudio comparativo de diferentes variantes para el perfeccionamiento de las multiplicadoras. *Universidad y Sociedad*, 9(4), 120-127. <https://rus.ucf.edu/cu/index.php/rus/article/view/671>
- Colmenares-Quintero, R. F., Benavides-Castillo, J. M., Rojas, N., & Stansfield, K. E. (2020). Community perceptions, beliefs and acceptability of renewable energies projects: A systematic mapping study. *Cogent Psychology*, 7(1), 1715534. <https://doi.org/10.1080/23311908.2020.1715534>
- Endesa (2021, 2 agosto). *Conoce la energía eólica: sus ventajas, qué es y cómo funciona*. Recuperado el 5 de julio de 2022, de <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/energias-renovables/energia-eolica#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20e%C3%B3lica%20utiliza%20la,para%20crear%20el%20voltaje%20el%C3%A9ctrico>.
- Estrada Gasca, C. A. (2013). Transición energética, energías renovables y energía solar de potencia. *Revista Mexicana de Física*, 59(2), 75-84. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57030971010>
- Fundación Endesa. (2021). *La energía*. Recuperado el 5 de julio de 2022, de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/que-es-la-energia>
- Gamio Aita, P. (2017). Energía: un cambio necesario en el Perú. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, 1, 93-135. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.201701.004>
- Gárate, C. E., Paredes, N. A. R., Phillips, A. R., & Manrique, R. K. (2017). Tendencias actuales en la inversión en energía renovable. Apuntes para una futura reforma de la industria eléctrica peruana. *Revista Peruana de Energía*, (6), 195-209. <https://drive.google.com/file/d/11bzZvWjUBxjsFfjvzaZHcLptJJHsk7vL/view>
- Gobierno del Perú. (2021, 24 de noviembre). *Siete centrales eólicas ayudan a atender la demanda eléctrica del país con energías limpias*. <https://www.gob.pe/es/n/563316>
- González, A. (2006). El concepto "energía" en la enseñanza de las ciencias. *Revista Iberoamericana de Educación*, 38(2), 1-6. <https://doi.org/10.35362/rie3822660>

- Hernández-Vásquez, A., & Díaz-Seijas, D. (2017). Contaminación ambiental y repositorios de datos históricos de contaminantes atmosféricos en Perú. *Salud Pública de México*, 59(5), 507–508. <https://doi.org/10.21149/8476>
- Kühn, F., Liebach, F., Matthey, T., Schlosser, A., & Zivansky, J. (2022, 20 de abril). *How to succeed in the expanding global offshore wind market*. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/how-to-succeed-in-the-expanding-global-offshore-wind-market>
- Ministerio del Ambiente. (2019). *Mapa nacional de ecosistemas del Perú* [Infografía]. <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>
- Ministerio del Ambiente. (2021). *Nuestro desafío climático* [Infografía]. <https://www.gob.pe/es/i/2052852>
- Ministerio de Energía y Minas. (2013). Resolución Ministerial 203-2013-MEM/DM del 24 de mayo 2013. Aprueban Plan de Acceso Universal a la energía 2013-2022 Resolución Ministerial N° 203-2013-MEM/DM. <https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/4717705-203-2013-mem-dm>
- Ministerio de Energía y Minas. (2016). *Atlas eólico del Perú*. <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00367.pdf>
- Mujica, N., & Rincón, S. (2010, junio). El concepto de desarrollo: posiciones teóricas más relevantes. *Revista Venezolana de Gerencia*, 15(50), 294-320. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-99842010000200007
- Naciones Unidas. (2021, 9 de agosto). Cambio climático: el ser humano ha calentado el planeta a un nivel nunca antes visto en los últimos 2000 años. *Noticias ONU*. <https://news.un.org/es/story/2021/08/1495262>
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (2011). Decreto Supremo 012-2011-EM. Aprueban nuevo Reglamento de la Generación de Electricidad con Energías Renovables. <https://www.gob.pe/es/l/739399>
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (2013). Decreto Supremo 020-2013-EM. Aprueban Reglamento para la Promoción de la Inversión Eléctrica en Áreas No Conectadas a Red. <https://www.gob.pe/es/l/733932>
- Presidencia de la República del Perú. (2010). Decreto Legislativo 1002 de 2010. Decreto legislativo de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables. 13 de setiembre del 2010. https://www.minem.gob.pe/archivos/legislacion-9ozj22z9ap5zz33z-DL_de_promocion_de_la_inversion_para_la_generacion_de_electricidad_con_el_uso_de_energias_renovables_1002.pdf

- Quispe, A. M., & Calderón, J. (2015). Evaluación, aplicación, difusión y abastecimiento de un sistema de generación eólica. *Campus*, XX(20), 57–68. doi.org/10.24265/campus.2016.v20n20.06
- Ruiz, K., & Mimbela, M. (2021). Análisis del sector de energía eléctrica en el Perú [Tesis de maestría] Pirhua – repositorio institucional. Universidad de Piura. <https://hdl.handle.net/11042/5092>
- Schmerler, D., Velarde, J. C., Rodríguez, A., & Solís, B. (2019). *Energías renovables: experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética*. Osinergmin. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf
- Tamayo, J., Jácome, J., Vásquez, A. & Vilches, C. (2017). *La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país*. Osinergmin. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anos.pdf
- Taylor, M., Rolan, P., Anuta, H., & Al-Zoghoul, S. (2020). *Renewable Power Generation Costs in 2019*. International Renewable Energy Agency.
- Vásquez, A., Tamayo, J., & Salvador, J. (2017, febrero). *La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático*. Osinergmin. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anos.pdf
- Zemansky, S. Y. & Freedman, Y. Y. (2013, 1 enero). *Física universitaria* (Vol. 1, 13.^a ed.). Pearson Educación.

**CIENCIA
Y TECNOLOGÍA**

Science and Technology

ANÁLISIS DE LOS PLANES DE ESTUDIO Y EL EJERCICIO PROFESIONAL DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL EN LOS PAÍSES DE LA ALIANZA DEL PACÍFICO

LUIS ALBERTO GONZÁLEZ ARAUJO*

Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería, Bogotá, Colombia

<https://orcid.org/0000-0001-7629-6897>

SONIA ALEXANDRA JAIMES SUÁREZ

Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito,

Facultad de Ingeniería Industrial, Bogotá, Colombia

<https://orcid.org/0000-0003-0693-6654>

LUZ MARINA PATIÑO NIETO

Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería, Bogotá, Colombia

<https://orcid.org/0000-0002-4488-0391>

JOSEPH VOELKL PEÑALOZA

Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito,

Facultad de Ingeniería Industrial, Bogotá, Colombia

<https://orcid.org/0000-0002-0844-9246>

CAROLINA RICO RESTREPO

Universidad El Bosque, Facultad de Ingeniería,

Programa Ingeniería Industrial, Bogotá, Colombia

<https://orcid.org/0000-0001-6011-530X>

Recibido: 8 de julio del 2022 / Aceptado: 3 de agosto del 2022

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n43.5901>

RESUMEN. El presente documento es producto del trabajo colaborativo en REDIN, la red de programas de ingeniería industrial del nodo centro de Colombia de ACOFI, y el resultado de un proyecto de investigación articulado con el Consejo Profesional Nacional de Ingeniería para revisar oportunidades dentro de los programas y el ejercicio profesional de los ingenieros industriales en los países pertenecientes a la Alianza del Pacífico (AP). Este documento analiza los elementos indispensables para la articulación de los

* Correos electrónicos en orden de aparición: director@acofi.edu.co; sonia.jaimes@escuelaing.edu.co; estudiantes@acofi.edu.co; joseph.voelkl@escuelaing.edu.co; ricocarolina@unbosque.edu.co

programas de Ingeniería Industrial y el ejercicio profesional del ingeniero industrial en los diferentes países de la AP. Este estudio se plantea como punto de partida o lineamiento para resaltar la importancia y necesidad de la licencia profesional como eje fundamental para el ejercicio profesional a nivel internacional y para articular las distintas tendencias en educación e investigación en Ingeniería Industrial. Finalmente, el documento incorpora acciones para el fomento y desarrollo del estudio de los aspectos necesarios para estandarizar los criterios y parámetros para el ejercicio de la ingeniería colombiana en otros escenarios internacionales.

PALABRAS CLAVE: ingeniería industrial / Alianza del Pacífico / ejercicio profesional / matrícula profesional

ANALYSIS OF STUDY PLANS AND THE PROFESSIONAL EXERCISE OF INDUSTRIAL ENGINEERING IN THE COUNTRIES OF THE PACIFIC ALLIANCE

ABSTRACT. This document is the product of collaborative work in REDIN, the network of industrial engineering programs in the central Colombian node of ACOFI, and the result of a research project articulated with the National Professional Engineering Council to review the programs and the professional practice of industrial engineers in the countries belonging to the Pacific Alliance (PA). This document analyzes the essential elements for articulating the Industrial Engineering programs and the professional practice of the industrial engineer in the different countries of the PA. This study proposes guidelines to highlight the importance and need of the professional license as a fundamental axis for professional practice at an international level and to articulate the different trends in education and research in Industrial Engineering. Finally, the document incorporates actions to promote and develop the study of the necessary aspects to standardize the criteria and parameters for the exercise of Colombian engineering in other international scenarios.

KEY WORDS: industrial engineering / Pacific Alliance / professional practice / professional license

1. INTRODUCCIÓN

Como aporte a la internacionalización del perfil del ingeniero industrial, el grupo de la Comisión de Internacionalización de la Red de Programas de Ingeniería Industrial (REDIN) nodo centro de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI) presenta la revisión de elementos, articulación de planes de estudio y el análisis del ejercicio profesional a partir de la propuesta de la Alianza del Pacífico (AP), para Chile, Colombia, México y Perú.

El interés surge al reconocer las oportunidades que proyectos regionales como la AP ofrecen para carreras como la ingeniería industrial. Lo anterior origina la necesidad de analizar la internacionalización de este programa desde el ejercicio profesional. En este documento se analizan los principales aspectos que caracterizan la formación, el ejercicio y la regulación de la ingeniería industrial en los países de la AP para proponer recomendaciones que contribuyan a fortalecer el desarrollo regional desde la ingeniería.

La AP nació como una iniciativa económica y de desarrollo entre Chile, Colombia, México y Perú. Desde ese momento se ha convertido en el eje de una nueva forma de hacer negocios en el continente. ¿Cuál es el secreto del éxito de esta unión? La clave es la articulación de fuerzas más allá de las fronteras territoriales. Este es un mecanismo colaborativo para la articulación política y económica, que busca encontrar un espacio para impulsar el crecimiento y la competitividad de las cuatro economías de los miembros de la AP. Confían que esto es posible por el avance progresivo de la libre circulación de bienes, servicios, capitales y personas (Ministerio de Relaciones Exteriores de Colombia, s. f.).

Mientras los lazos se fortalecen dentro de la AP, hay un trabajo paralelo para convertir el bloque en una potencia mundial de negocios y oportunidades. De ahí que uno de sus principales mercados sea el que se extiende en el litoral asiático del Pacífico, una de las regiones fundamentales de la economía global. El trabajo conjunto también se demuestra con la presencia de la AP en ferias de promoción internacional y en el hecho de compartir embajadas en países asiáticos y africanos con actividades coordinadas por grupos técnicos especializados. Por ahora, son 26 equipos distribuidos en áreas y temas como facilitación del comercio y cooperación aduanera, propiedad intelectual, expertos que analizan las propuestas del Consejo Empresarial de la AP, desarrollo minero, responsabilidad social y sustentabilidad, pymes, servicios y capitales, protección al consumidor, así como los grupos técnicos de medioambiente y crecimiento verde, el subgrupo del Operador Económico Autorizado (OEA), el Grupo de Relacionamiento Externo y de Movimiento de Personas y Facilitación del Tránsito Migratorio.

2. METODOLOGÍA

Es así como la internacionalización en la AP en materia de educación superior y movilidad académica no está quedando al margen de las actuales relaciones internacionales latinoamericanas; siendo materia de prioridad en la política exterior porque es uno de los procesos de integración regional más ambiciosos de la actualidad. Igualmente es una plataforma estratégica y abierta al libre comercio porque:

- Es un proceso de integración abierto e incluyente, constituido por países con visiones afines de desarrollo y promotores del libre comercio como impulsor de crecimiento.
- Es una iniciativa dinámica, con alto potencial y proyección para los negocios.
- Las economías conjuntas de los países miembros ocupan el octavo sitio a escala mundial.
- La modernidad, el pragmatismo y la voluntad política se orientan para afrontar los retos del entorno económico internacional.
- Ofrece ventajas competitivas para los negocios internacionales, con una clara orientación a la región Asia-Pacífico.
- Constituye la octava potencia económica y exportadora a escala mundial.
- En América Latina y el Caribe, el bloque representa el 37 % del PIB, concentra el 52 % del comercio total y atrae el 45 % de la inversión extranjera directa.
- Los cuatro países reúnen una población de 225 millones de personas y cuentan con un PIB per cápita promedio de USD 18 000.
- La población es en su mayoría joven y constituye una fuerza de trabajo calificada, así como un mercado atractivo con poder adquisitivo en constante crecimiento.

Es un espacio de cooperación efectivo que impulsa iniciativas innovadoras sobre:

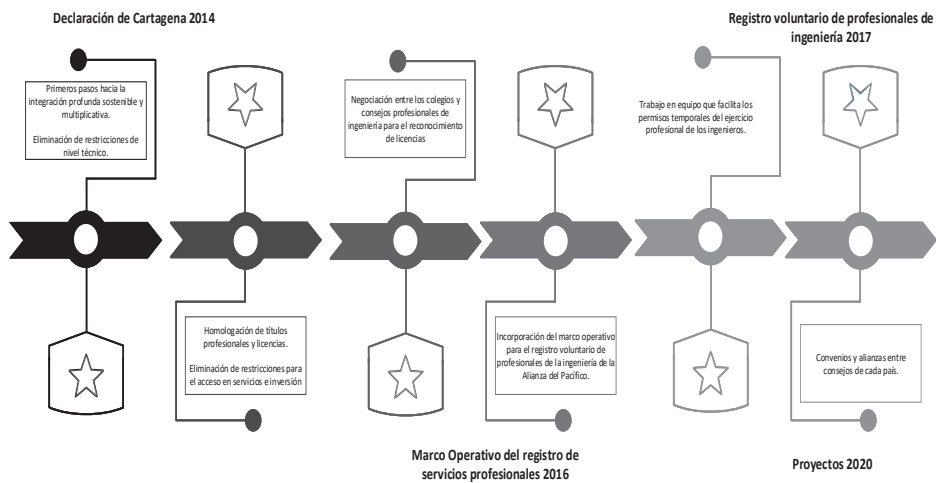
- Libre movilidad de personas
- Intercambio académico y estudiantil
- Promoción cultural
- Integración de los mercados de valores
- Apertura de oficinas comerciales conjuntas
- Participación en ferias y exposiciones en un mismo espacio
- Mejoras en la competitividad y la innovación de las micro, pequeñas y medianas empresas

- Turismo
- Preservación y respeto del medioambiente
- Creación de una red de investigación científica sobre cambio climático

Se han venido realizando acercamientos y estableciendo expectativas en relación con el ejercicio profesional de la ingeniería (Alianza del Pacífico, 2022) en los países de la AP como se aprecia en la figura 1.

Figura 1

Acercamientos entre países de la Alianza del Pacífico



Para analizar los programas se identificaron las oportunidades y desafíos de formación y ejercicio profesional de la ingeniería industrial frente a los tratados y acuerdos entre los países de la AP y se realizó un análisis de factores definidos en la construcción de tablas que contemplan:

- Campo de ejercicio profesional
- Áreas del conocimiento en el plan de estudios
- Áreas de investigación
- Créditos del programa
- Número de asignaturas del programa

Lo anterior se realizó con tablas resúmenes por países de la AP con la revisión de referentes internacionales de instituciones de educación superior (IES) por país. En esta

etapa se acordó utilizar como referente internacional el ranking de cada país y, como criterio de selección, los programas de ingeniería industrial o similares que estuvieran en el 10 % inicial de los listados. Por otra parte, en los países donde este ranking no arrojó ningún resultado, se tomó como criterio la selección de programas académicos que tuvieran reconocimiento de acreditación del programa o institucional (REDIN, 2018).

3. RESULTADOS

Análisis de programas de ingeniería industrial o similares de los países de la AP

Chile

Los dos títulos más cercanos son los de ingeniero civil-industrial y de ingeniero comercial. Sin embargo, el que se acerca más a la equivalencia en las áreas de formación tradicional del ingeniero industrial, de acuerdo con varios referentes internacionales (Institute of Industrial & System Engineers, s.f.), es el de ingeniero civil-industrial. Estas diferencias, sin embargo, evidencian la necesidad de tener un perfil estandarizado; asimismo, se analizan las tendencias y retos de esta profesión, los cuales concuerdan con los elementos identificados y mencionados en los mencionados referentes internacionales.

A manera de perfil profesional y campo de formación, se evidencia una focalización en empresas de servicios, a pesar de que también abarcan los procesos productivos de manufactura, pero con menor intensidad. Así mismo, se observa un énfasis en temas de gestión y planeación organizacional.

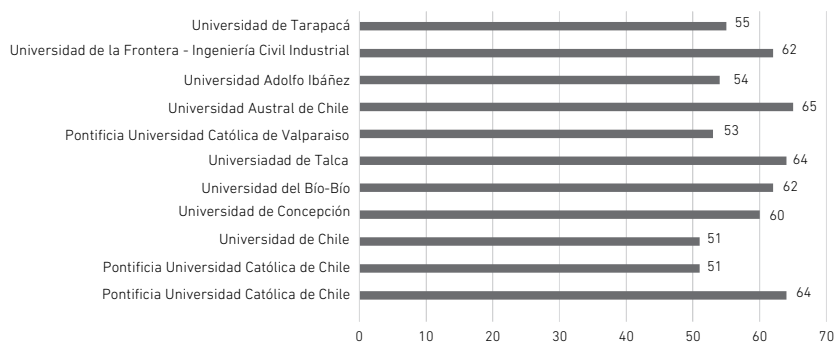
Con respecto a las áreas de investigación, estas son generalmente interdisciplinarias, pero hemos encontrado diferentes referencias que señalan una tendencia hacia la investigación de operaciones, logística, marketing, finanzas, gestión y proyectos. (ACOFI, 2020)

Se analizaron las instituciones que se encuentran en los primeros puestos del ranking *Universitas-El Mercurio*, que mide la calidad de las universidades chilenas, y en cuanto al número de asignaturas de los planes de estudio se encontró que están cercanos a las 59 asignaturas, en promedio. En la Figura 2 se evidencia el número de asignaturas por institución revisada. La duración de los programas se encuentra entre 10 y 12 semestres, como se evidencia en la Figura 3. Sobre el número de créditos académicos, este oscila entre 300 y 400, como se observa en la Figura 4.

La información acerca de los créditos académicos de algunos programas no está disponible en los sitios web consultados, por lo que en la figura esos casos han sido eliminados. La información fue construida por los autores del presente proyecto a través de matrices comparativas por cada región o país a partir de los reportes de la *web*.

Figura 2

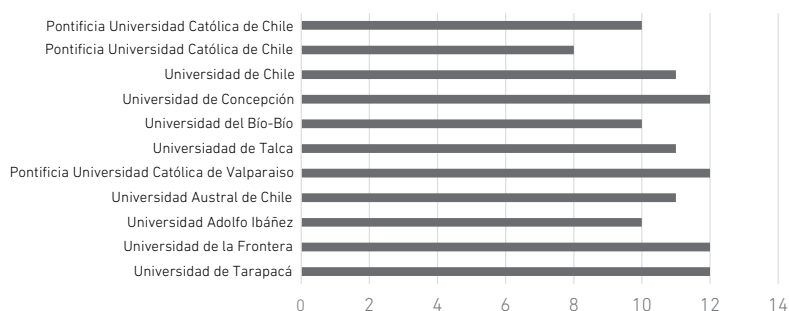
Número de asignaturas en los programas académicos revisados en Chile



Nota. De la Pontificia Universidad Católica de Chile se presentan los programas de dos carreras (Ingeniería Civil-Industrial e Ingeniería Comercial).

Figura 3

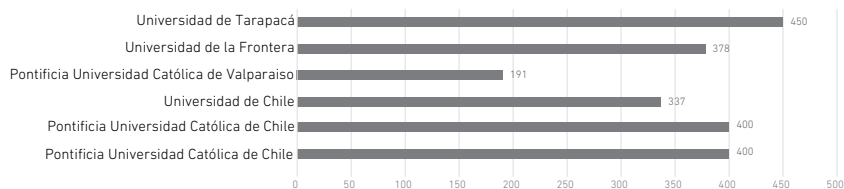
Número de semestres de duración de los programas académicos revisados en Chile



Nota. De la Pontificia Universidad Católica de Chile se presentan los programas de dos carreras (Ingeniería Civil-Industrial e Ingeniería Comercial).

Figura 4

Número de créditos instituciones revisadas en Chile



Nota. De la Pontificia Universidad Católica de Chile se presentan los programas de dos carreras (Ingeniería Civil-Industrial e Ingeniería Comercial).

Colombia

La ingeniería industrial se concibe como una disciplina que promueve los procesos de cambio requeridos por las organizaciones para lograr una mayor productividad y competitividad con visión global. Se propende a la formación con actitud ética, capacidad crítica, interés social y cultural, conocimiento y respeto de la persona, su entorno y sus valores, con el fin de contribuir al desarrollo de la región y del país. Adicionalmente, se busca contar con profesionales capaces de impulsar el desarrollo industrial, comercial y socioeconómico mediante el emprendimiento (REDIN, 2018).

Es una profesión que desarrolla habilidades para diseñar, conducir experimentos y analizar e interpretar datos, así como una actitud hacia el considerar la incertidumbre en la toma de decisiones. Así mismo, desarrollar habilidades para identificar, formular y solucionar problemas de ingeniería industrial desde cualquier área y nivel de una organización.

Existe en Colombia una oferta diversa de programas de ingeniería industrial. Los énfasis se encuentran asociados a procesos, producción y análisis de operaciones, estudio y análisis del trabajo, optimización e investigación de operaciones, economía, administración, contabilidad y finanzas.

Existe variedad en el número de asignaturas; en la Figura 5 se muestra el número de asignaturas por programa revisado: en promedio son 59 asignaturas las que se cursan durante los estudios de pregrado, que está contemplado que duren entre 4 y 5 años, es decir, de 8 a 10 semestres; en la Figura 6 se puede ver el número de semestres por programa revisado. El número de créditos de los programas de pregrado en ingeniería industrial oscila entre 134 y 177. En la Figura 7 se evidencia el número de créditos académicos por programa; como casos extremos se presentan algunas instituciones por encima del promedio, aunque la gran mayoría está entre 150 y 160 créditos según la legislación colombiana. Lo anterior se puede apreciar en el estudio realizado por la red (ACOFI, 2020). Frente a la investigación, las áreas en las que los programas académicos consultados están trabajando son la gestión organizacional, la dinámica de sistemas, el pensamiento sistémico, el diseño de productos, la gestión de tecnología y la optimización de operaciones, el mejoramiento de procesos productivos, la gestión de calidad y la ergonomía. Así mismo, se identifica que cada vez más las instituciones buscan incluir estas áreas de conocimiento en proyectos que se articulen de forma complementaria e integradora.

Figura 5

Número de asignaturas en los programas académicos revisados en Colombia

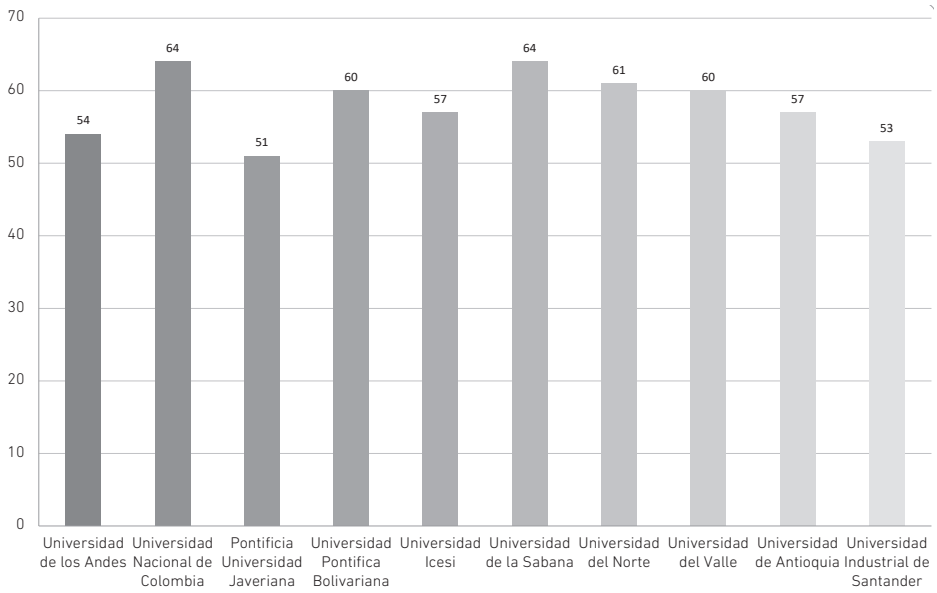


Figura 6

Número de semestres de los programas académicos revisados en Colombia

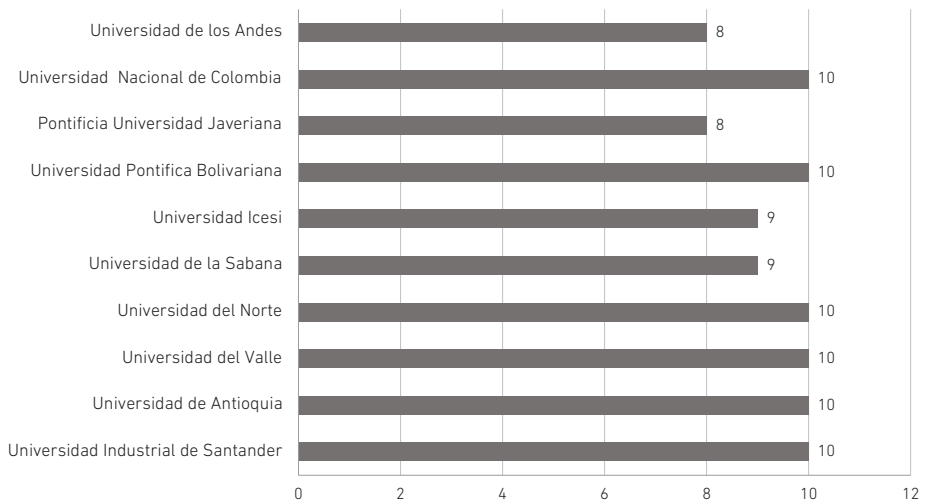
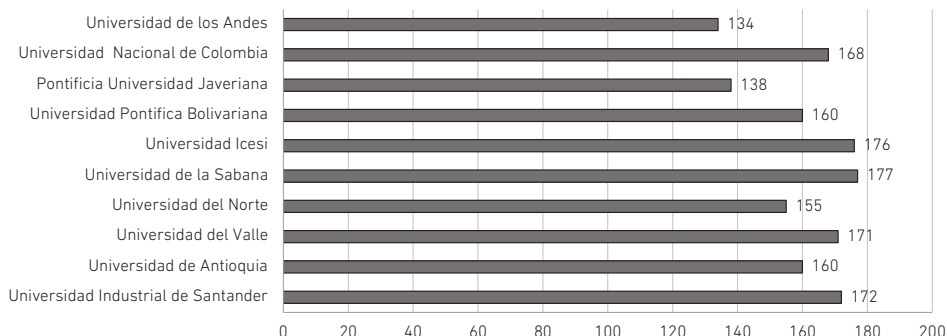


Figura 7

Número de créditos de instituciones de los programas revisadas en Colombia



México

Según los rankings y páginas de base de información de la educación superior de México como Mextudia, se encontró diversidad de información sobre programas académicos de cada institución de educación superior, carreras, guías y consejos. Adicionalmente, se encuentra la clasificación por la acreditación a través del Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería (CACEI).

En particular, para este estudio se utilizó el ranking web de centros de investigación que elabora el Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, en su versión 2019, como medio de verificación de la investigación de las instituciones de educación superior encontradas en las diversas clasificaciones, lo anterior para la consolidación de todos los factores establecidos como objeto de estudio y consulta.

En el documento *Elementos sobre internacionalización para los programas de ingeniería industrial* se concibe al ingeniero industrial como un profesional con dominio de las bases de la ingeniería así como con comprensión de las ciencias sociales y humanidades, capaz de manejar, además de los problemas de su profesión, problemas económicos, humanos y sociales (Red de Decanos y Directores de Ingeniería Industrial, 2018).

El número de las asignaturas se encuentra entre 50 y 75, como se evidencia en la Figura 8. Así mismo, las áreas de estudio se concentran en manufactura y logística, con tendencias globales y nuevas tecnologías para desarrollar nuevos productos, procesos y negocios. El número de semestres y créditos expuestos se encuentra en promedio de 9 semestres. En la Figura 9 se evidencia el número de semestres por programa académico y en la Figura 10 se evidencia el número de créditos académicos por programa, que en promedio son 400 créditos académicos.

Figura 8

Número de asignaturas de los programas académicos revisados en México

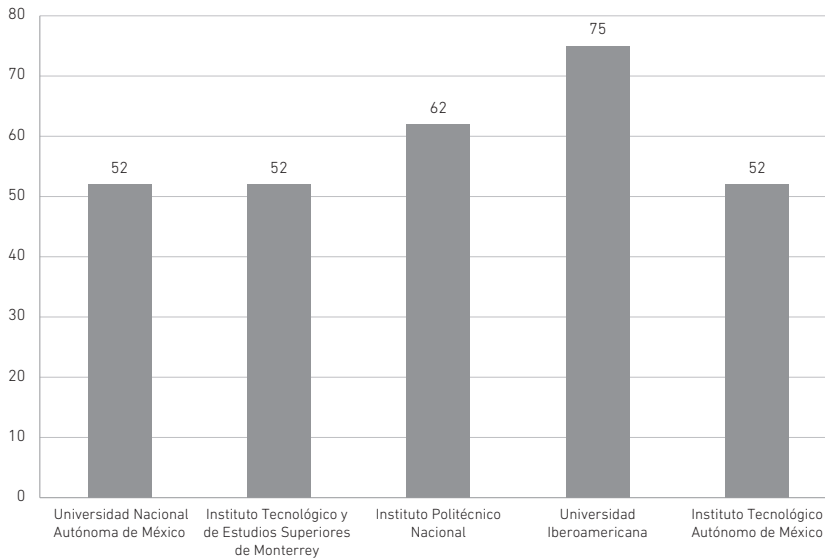


Figura 9

Número de semestres de los programas académicos revisados en México

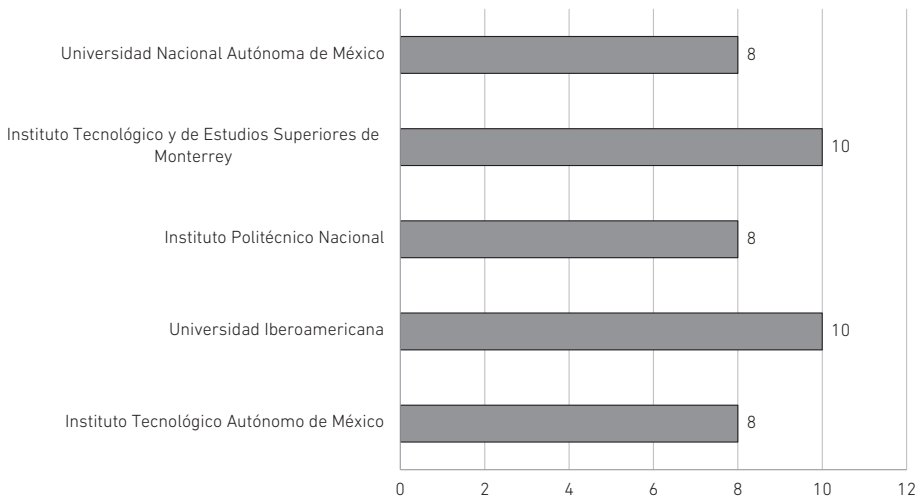
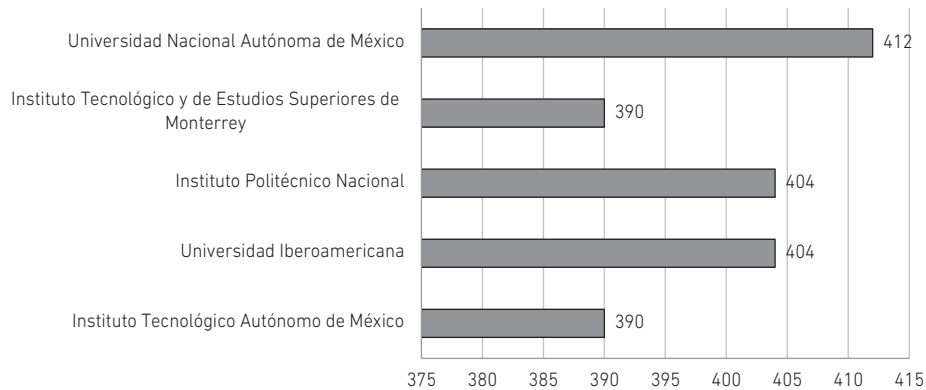


Figura 10

Número de créditos de los programas académicos revisados en México



La investigación en los programas de ingeniería industrial está enfocada en el desarrollo de los conocimientos, con énfasis en la solución de las necesidades de la comunidad empresarial. Los profesionales son formados para desarrollar metodologías de análisis y diseño en cada sector, haciendo hincapié en las cadenas de valor de manufactura, mejora ambiental de las organizaciones y estrategias en el sector de servicios turísticos, entre otros (ACOFI, 2020).

Perú

Se tomó el ranking encontrado en el artículo "Ranking de universidades del Perú 2018" (América Economía Intelligence, 2018). El título es ingeniero industrial y su perfil profesional se enfoca en formular, implementar, controlar, supervisar y evaluar proyectos de ingeniería industrial utilizando de manera eficiente los factores de producción de bienes y servicios. El ranking se establece a partir de Blanco Martínez (2021)

Se desarrollan las áreas de ciencias básicas, operaciones, producción, logística, procesos, calidad, gestión de proyectos y negocios. Así mismo, hacen énfasis en formación humanística, ética, sistemas integrados de gestión, nuevas tecnologías e impactos sociales, ambientales y económicos. De igual manera, se participa en trabajos orientados a la mejora organizacional, con formación en tecnologías, sistemas de información y herramientas de gestión empresarial.

A continuación, en las figuras 11, 12 y 13 se detalla el número de asignaturas, semestres y créditos de los programas académicos revisados. En promedio son 63 asignaturas en los planes de estudio de las primeras diez instituciones; en este país la carrera tiene aproximadamente 210 créditos.

Figura 11

Número de asignaturas en los programas académicos revisados en Perú

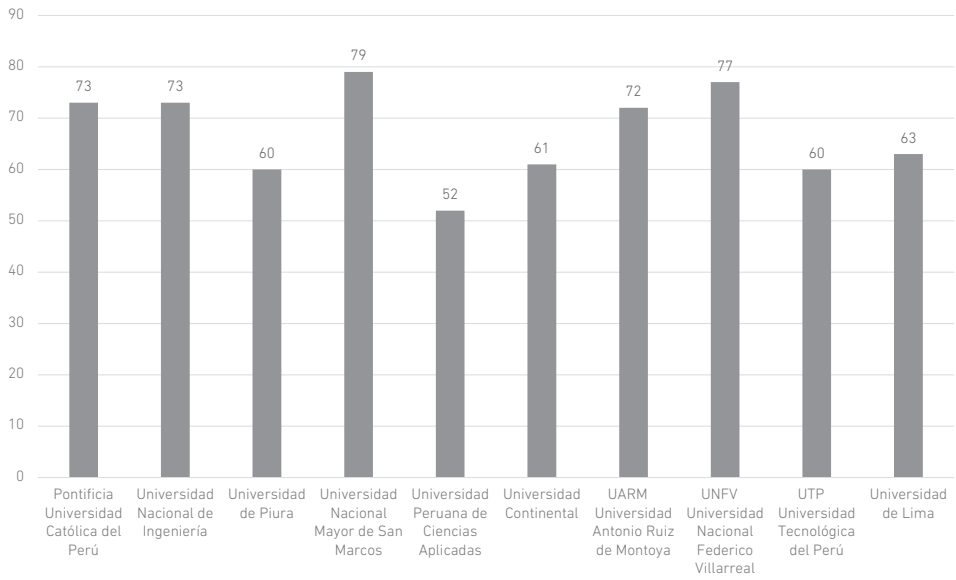


Figura 12

Número de semestres de los programas académicos revisados en Perú

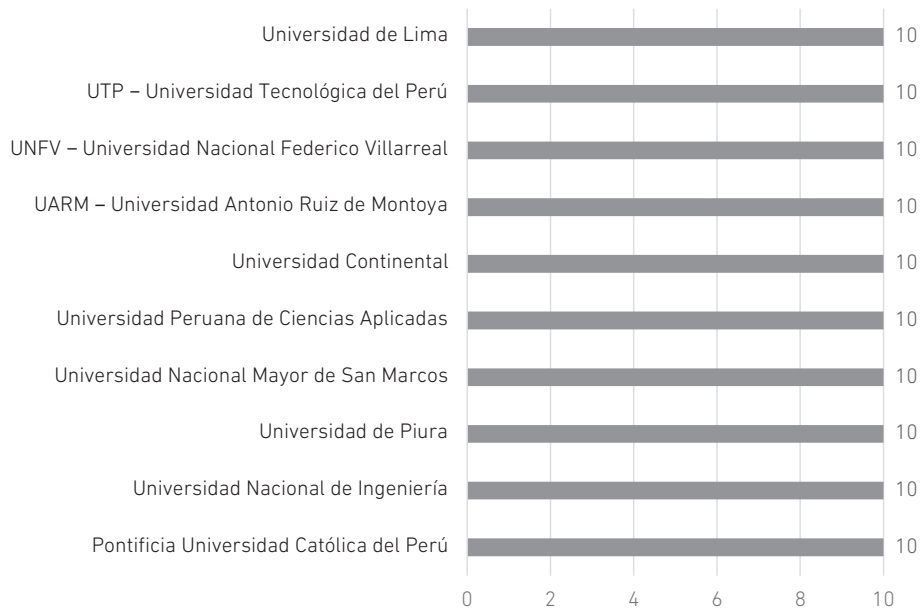
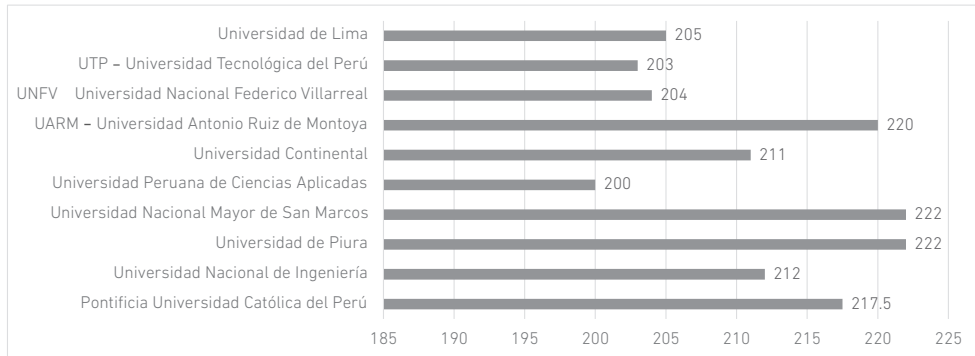


Figura 13

Número de créditos de los programas académicos revisados en Perú



Las áreas de investigación se focalizan en el diseño y gestión de los sistemas de manufactura, redes de abastecimiento, sostenibilidad y medioambiente, así como en aplicaciones de energías renovables, mejora de procesos industriales, mitigación de impactos ambientales y del cambio climático, diseño y ergonomía de puestos de trabajo y calidad.

Finalmente, analizamos la información de la ingeniería industrial de diferentes países y con relación al estudio publicado por la red (REDIN, 2018).

En Chile el sistema de créditos transferibles (SCT) representa la carga de trabajo que le demandará al estudiante una actividad curricular para el logro de los resultados de aprendizaje. Desde este punto de vista, un crédito equivale a la proporción respecto de la carga total de trabajo necesaria para completar un año de estudios de tiempo completo, por lo que se ha convenido que la carga anual de los estudiantes tienda a 60 créditos, lo que se sitúa en el rango de 1440 a 1900 horas de trabajo efectivo. A partir de este supuesto, un crédito representa entre 45 y 50 horas semanales, las cuales se entienden como el número promedio de horas que un estudiante dedica a sus estudios durante las semanas académicas de tiempo completo.

México no cuenta con un sistema unificado de créditos académicos, pero es posible establecer equivalencias de los distintos modelos de créditos académicos utilizados en México con el European Credit Transfer and Accumulation System (ECTS). En la revisión realizada, es posible expresar que un curso de 3 horas de clase por semana equivale a 8 créditos. Las unidades pueden entenderse por horas de trabajo semanales; en síntesis, se puede afirmar que 3 horas de clase semanales y 5 de estudio con tareas en casa equivalen a 8 créditos académicos. Un semestre consta de 16 semanas de clases y la mayoría de los cursos son de 48 horas de clase. La Secretaría de Educación Pública (SEP), a través del Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos (SEP

& Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior, 2007) detalla la estructuración de los créditos académicos, teniendo en cuenta los siguientes elementos:

- Acreditar lo que un estudiante aprende, independientemente de ciclos escolares, etapas formativas, grados y lugar.
- Posibilitar currículos nacionales e internacionales de multiacreditación.
- Acceder a niveles y estándares internacionales.
- Unificar el sistema educativo, en cuanto a las medidas del logro del estudiante.
- Acreditar aprendizajes situados en ambientes reales y transdisciplinarios.
- Posibilitar una formación multicultural, interdisciplinaria y con experiencias internacionales.
- Evaluar los avances del aprendizaje en suma de créditos y no necesariamente de asignaturas.
- Favorecer la movilidad y la cooperación académica.

La descripción se centra en el trabajo del estudiante, incorpora la docencia en aula, la práctica supervisada en campo y otras actividades de aprendizaje.

Teniendo en cuenta algunos referentes del decreto 2566 del Ministerio de Educación Nacional de Colombia, se indica que:

El tiempo estimado de actividad académica del estudiante en función de las competencias académicas que se espera el programa desarrolle, se expresará en unidades denominadas créditos académicos.

Un crédito equivale a 48 horas de trabajo académico del estudiante, que comprende las horas con acompañamiento directo del docente y demás horas que el estudiante deba emplear en actividades independientes de estudio, prácticas, u otras que sean necesarias para alcanzar las metas de aprendizaje, sin incluir las destinadas a la presentación de las pruebas finales de evaluación.

El número total de horas promedio de trabajo académico semanal del estudiante correspondiente a un crédito será aquel que resulte de dividir las 48 horas totales de trabajo por el número de semanas que cada institución defina para el periodo lectivo respectivo. (República de Colombia, 2003a, art. 18)

En el Perú, teniendo en cuenta estudios y proyecciones para estandarizar la carga académica real (en horas) de un estudiante de ingeniería industrial y de sistemas, un referente es de la Universidad de Piura (Campus Piura), durante el período de un semestre regular. Se trata de obtener resultados por semestre para determinar un exceso de carga, poca carga o carga ideal de un estudiante en base a normativas de

estudios superiores. (Adrianzén y Navarro, 2020). Un crédito equivale a 16 horas académicas en 16 semanas y el estudiante realiza 2 horas de trabajo autónomo, sumando un total de 48 horas por semestre.

La acreditación en los programas de ingeniería industrial en los países de la Alianza del Pacífico

Al mencionar los referentes internacionales para el ejercicio y la acreditación de los programas de ingeniería industrial en países de la Alianza del Pacífico, se entendió que son las instituciones que rigen de forma oficial algún tipo de aval, ya sea para el ejercicio profesional como ente regulador o, incluso, como organismo acreditador de la calidad. En resumen, las entidades por país son las siguientes:

Chile:

- Ministerio de Educación de Chile
- Comisión Nacional de Acreditación (CNA)
- Acredita Cl

Colombia:

- Ministerio de Educación Nacional (MEN)
- Comisión Nacional Intersectorial de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior (CONACES)
- Consejo Nacional de Acreditación (CNA)

México:

- Consejo para la Acreditación de la Educación Superior AC (COPAES)
- Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería AC (CACEI)

Perú:

- Ministerio de Educación del Perú
- Sistema Nacional de Evaluación, Acreditación y Certificación de la Calidad Educativa (SINEACE)
- Superintendencia Nacional de Educación Universitaria (SUNEDU)
- ICACIT

Condiciones actuales para el ejercicio profesional en los países de la Alianza del Pacífico

El estudio detallado del ejercicio profesional en cada territorio de los miembros de la AP se realizó de acuerdo con el alcance particular de las condiciones establecidas por cada país. Sin embargo, se encontró que en cada uno de ellos se procedía con su regulación de forma diferente e, incluso, se hallaron algunos casos en los que cada ente generaba lineamientos particulares para permitir la matrícula profesional o licencia para ejercer (Sossa et al., 2013).

Este análisis llevó al equipo a decidir que solo se darían resultados como los descritos a continuación, los cuales, al elaborar este documento, únicamente remiten a listados generales de entidades reguladoras por país para que, dependiendo del caso, se pueda enviar a cada entidad.

Chile: El organismo regulador del ejercicio profesional del ingeniero industrial es el Colegio de Ingenieros de Chile, ente de origen privado que, en conjunto con su agencia acreditadora, busca apoyar el desarrollo de la ingeniería a través de la articulación entre la academia y la industria (Colegio de Ingenieros de Chile, s. f.). En la actualidad, el trámite para expedir la tarjeta profesional es principalmente administrativo, siempre y cuando cumpla con los requisitos exigidos por la entidad.

Colombia: El organismo regulador del ejercicio profesional del ingeniero industrial es el Consejo Profesional Nacional de Ingeniería (COPNIA), entidad pública que tiene la función de controlar, inspeccionar y vigilar en el territorio nacional el ejercicio de la ingeniería y de sus profesiones afines y auxiliares en general. La solicitud de la matrícula profesional como ingeniero o profesional afín la otorga el COPNIA a través del cumplimiento y requisitos establecidos en la entidad (COPNIA, s.f.)

El COPNIA desarrolla su función mediante la expedición de cuatro herramientas legales para legalizar el ejercicio profesional:

- Matrícula profesional para ingenieros.
- Certificado de inscripción profesional para profesionales afines y profesionales auxiliares.
- Certificado de matrícula para maestros de obra.
- Permisos temporales para profesionales graduados y domiciliados en el exterior que pretendan ejercer temporalmente en Colombia (República de Colombia, 2003b, art. 23).

En el artículo 26 de la Constitución Política de Colombia y en la Ley 842 de 2003 y demás normas complementarias y suplementarias, se dispone la autorización a nombre del Estado del ejercicio de una profesión que implica riesgo social o suspensión del

ejercicio profesional, previa aplicación del debido proceso, a quienes se les compruebe la violación del Código de Ética o del correcto ejercicio de la profesión autorizada (Constitución Política de Colombia, 1991, art. 68; República de Colombia, 2003b).

México: La Secretaría de Educación Pública (SEP) tiene como propósito crear condiciones que permitan asegurar el acceso de sus nacionales a “una educación de excelencia con equidad, universalidad e integralidad, en el nivel y modalidad que la requieran y en el lugar donde la demanden” (SEP, 2020, párr. 1).

Con el objetivo de fortalecer las acciones en materia de registro, control y vigilancia del ejercicio profesional, la Secretaría de Educación Pública, a través de la Dirección General de Profesiones, expide la cédula profesional, que cuenta con hologramas de seguridad que incluyen la información oficial del título reconocido. Este documento permite que la sociedad identifique plenamente al profesional y se utilice como un medio de identificación de validez oficial. Se expide por una única vez y en caso de que ya se cuente con él, no existe la obligación de renovarlo.

Perú: El ente que regula el ejercicio profesional para el ingeniero industrial es el Colegio de Ingenieros del Perú (CIP) (CIP, s.f.), con potestad para sancionar a los profesionales de ingeniería. En los casos de incumplimiento, en relación con las faltas contra la ética, le corresponde actuar al Tribunal Departamental de Ética en primera instancia y en segunda instancia al Tribunal Nacional de Ética. Para realizar los trámites se requiere el título de ingeniero expedido, revalidado o reconocido y cumplir los demás requisitos solicitados por el ente respectivo.

4. CONCLUSIONES

Es fundamental tomar en cuenta que los procesos de movilidad de estudiantes fueron los que dieron inicio a cambios en la educación con la Declaración de Bolonia. A partir de los programas de Sócrates-Erasmus de movilidad y con el fin de establecer equivalencias y reconocer los títulos de los estudiantes que tomaran cursos en otros países y fueran tenidos en consideración, se pudieran medir y transferir de una institución a otra, la Comisión Europea creó en 1989 el European Credit Transfer and Accumulation System (ECTS). Es así como con el plan Erasmus surgen los ECTS, probados por seis años en 145 instituciones de educación superior de la Unión Europea, grupo al cual se fueron sumando cada vez más instituciones. (European Commission, s.f.). Finalmente, la inserción laboral es una actividad primordial de estudio para revisar y reflexionar sobre los posibles campos de acción para la generación *millennial* que les espera a los jóvenes, como es el caso de México que analizó variables y proyecciones para fomentar tendencias e innovación en la formación y la profesión (Camino de Villa y Chiatchoua, 2021).

El crédito académico europeo supone

La unidad de medida del haber académico que representa la cantidad de trabajo del estudiante para cumplir los objetivos del programa de estudios y que se obtiene por la superación de cada una de las materias que integran los planes de estudios de las diversas enseñanzas conducentes a la obtención de títulos universitarios de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional. (Gobierno de España, 2003, art. 3)

El ECTS es un sistema que puso en consideración que las instituciones trabajaran en la uniformidad de sus planes de estudio, en la revisión de aspectos como los recursos utilizados, en los procesos de enseñanza-aprendizaje y en los contenidos de las asignaturas. Está centrado en el estudiante, y se basa en la carga de trabajo necesaria para la consecución de los objetivos de un programa, los cuales se especifican en términos de los resultados del aprendizaje y de las competencias que se han de adquirir por parte del estudiante y cambia completamente los roles de estudiante y docente, de modo que el primero es autor principal en los procesos de aprendizaje y el segundo debe dedicar más atención a los procesos de preparación didáctica y acompañamiento personalizado a las actividades de evaluación (ECTS, 2021).

Se basa en el acuerdo de que 60 créditos miden la carga de trabajo de un estudiante de tiempo completo durante un curso académico. Para lo anterior, un crédito implica entre 25 y 30 horas de trabajo en el semestre.

Los estudiantes deben ser evaluados y a la vez obtener unas calificaciones que se traduzcan en una escala europea, grados ECTS, que tiene en cuenta los porcentajes de éxito en cada asignatura: A el 10 % mejor, B el 25 % siguiente, C el 30 % siguiente, D el 25 % siguiente y E el 10 % siguiente. Se hace una distinción entre las notas FX y F, que se asignan a los estudiantes que no aprueban. FX significa: "no aprobado–se requiere un poco más de trabajo para aprobar", y F significa: "no aprobado–se requiere bastante más trabajo para aprobar".

Otros aspectos importantes para que el sistema se desarrolle y tenga éxito consiste en establecer documentos estándares que brinden información de los programas y de los resultados logrados en el aprendizaje por parte de los estudiantes. Estos documentos son las guías docentes detalladas, la transcripción de créditos y calificaciones obtenidas y el "Suplemento Europeo al Título", documento anexo a un título de enseñanza superior que proporciona una descripción estandarizada de la naturaleza, nivel, contexto, contenido y rango de los estudios seguidos y completados con éxito por el titulado. Igualmente, la necesidad de mantener estudios internacionales para validar la proyección de la carrera de la ingeniería industrial y prever la disminución de la profesión, como es el caso de Colombia (Sánchez Celis, 2021).

Dado lo anterior, con el objetivo de establecer acuerdos entre los países para homologación de títulos, uno de los escenarios que se propone es establecer equivalencias entres

los créditos de los países de la AP y tomar como referencia la comunidad europea en el establecimiento del sistema común de transferencia de créditos denominado ECTS.

Por otro lado, como se indicó en los numerales anteriores, este estudio se ha focalizado en el análisis descriptivo del perfil de la ingeniería industrial en algunas de las instituciones representativas, al igual que algunos elementos para efectos del aseguramiento de la calidad y el ejercicio profesional, más que dar lineamientos específicos.

A continuación, se presentan las conclusiones en el marco general de algunos elementos tales como: contextualización, ejercicio profesional, análisis comparativo y análisis de entes reguladores.

Chile

El plan de estudios presenta una fuerte formación inicial dentro de un componente general de ingeniería en el que prevalecen las ciencias básicas y las matemáticas. Posteriormente, hay un fuerte foco en procesos y sistemas productivos de bienes y servicios y se encuentra que tienen asignaturas muy especializadas en la gestión y producción de servicios, hecho que los diferencia.

En cuanto al ejercicio profesional, se encuentra regulado. Quienes requieren la tarjeta profesional tienen que estar validándola cada periodo de tiempo, de acuerdo con el vencimiento que se estipule, particular para cada caso.

Hay varios órganos públicos y privados que velan por la calidad de los programas de ingeniería civil-industrial y que buscan garantizar que tengan reconocimiento en el contexto laboral. En cuanto a acreditaciones internacionales con modelos como los de la Accreditation Board of Engineering and Technology (ABET), hay pocos programas e instituciones que las tienen; sin embargo, se identifican varias oportunidades para trabajar en modelos internacionales comunes como el del Sistema de Acreditación Regional de Carreras Universitarias (ARCU-SUR) en el ámbito del sector educativo del Mercosur.

Se requiere trabajar en:

- Homologación de denominación de títulos en el que haya mayor claridad en cuanto a qué implica cada título, frente a los que se emiten en otros países en los que hay más claridad y similitud sobre tipología de títulos.
- Un análisis de las razones por las que en Chile la mayoría de programas tienen una duración superior o igual a diez semestres, mientras que la tendencia internacional es reducir esta duración a los ocho semestres.
- Estudiar el sistema de regulación realizada en el ejercicio profesional de los ingenieros industriales en Chile, para aprender de las fortalezas que tiene este frente a su utilidad en el mercado laboral.

Colombia

La ingeniería industrial es una profesión de amplio alcance en diferentes ámbitos como el laboral, de investigación, de emprendimiento, de innovación, entre otros, lo que hace que su fundamentación en cada una de las áreas de estudio sea muy bien estructurada para responder al desarrollo del proceso de formación y al ejercicio profesional.

El ingeniero industrial busca optimizar los recursos en la mejora de los métodos de producción de bienes y servicios en organizaciones manufactureras y contempla las de servicios con un enfoque hacia mayor efectividad y productividad, de una manera sistémica, y con una visión global y una aplicación local para satisfacer las necesidades de la sociedad.

Para ejercer la profesión, los ingenieros deben estar matriculados o inscritos en el registro profesional que lleva el COPNIA. Es una reglamentación del ejercicio de la ingeniería, de sus profesiones afines y de sus profesiones auxiliares y se adopta en el Código de Ética Profesional, el cual dicta otras disposiciones.

Se requiere trabajar en oportunidades de trabajo en investigación, de modo que la articulación de temáticas no sea solo dentro de las áreas de acción de la ingeniería industrial, sino que existan proyectos más integradores con las áreas de conocimiento de otros programas e incluso de las ciencias sociales, dentro de las mismas instituciones y aprovechando los recursos disponibles en otras IES.

México

La ingeniería industrial tiene una tradición importante y una reconocida vocación histórica. Por este motivo, el ejercicio profesional de la ingeniería industrial se considera uno de los más importantes en este país: "Los licenciados en Administración, Contaduría y los ingenieros industriales son los empleados más solicitados por las empresas mexicanas, de acuerdo con el estudio tendencias de empleabilidad (Rojas, 2018).

Los programas de ingeniería industrial presentan una estructura académica con elementos comunes entre los países de la Alianza del Pacífico, representados en sus áreas de formación, sustentada en las matemáticas y en las ciencias, con un componente profesional orientado a la producción, calidad y manufactura, asociado al desarrollo industrial de este país. Es claro que cada programa tiene especificidades asociadas a la región y al perfil de egreso. Existen algunas titulaciones híbridas, pero mayoritariamente son programas de ingeniería industrial.

El funcionamiento de un programa de ingeniería industrial depende de la Secretaría de Educación Pública, entidad que autoriza el funcionamiento del programa y otorga la cédula profesional a los graduados. Cabe resaltar que las instituciones educativas de carácter público deben, además, tramitar el Registro de Validez Oficial (RVOE) que

habilita legalmente el programa. Sin ese registro, la Dirección de Profesiones no emite las cédulas a sus egresados.

No se evidenciaron requisitos adicionales para ejercer la ingeniería industrial. Las asociaciones profesionales relacionadas con la ingeniería industrial ofrecen asesorías y consultoría en temas relacionados con esta carrera, pero son de carácter privado.

Se requiere trabajar en:

- Plantear en el marco de la AP modelos de movilidad de profesores y estudiantes, para realizar procesos investigativos empresariales en países de la AP, promoviendo la relación y aplicación con el sector empresarial.
- Promover modelos de convalidación o reconocimiento de títulos profesionales de los países de la AP con altos estándares de calidad, contemplando programas reacreditados a escala nacional o con acreditación internacional.
- Trabajar en modelos de convalidación, referenciación y posicionamiento con los gremios del ejercicio profesional y las IES, para que los profesionales que cumplen los requisitos de matrícula profesional obtengan beneficios para su reconocimiento del título de ingeniero.

Perú

Los programas de ingeniería industrial cuentan con una formación importante en ciencias básicas, ciencias básicas ingenieriles, probabilidad y estadística, procesos, gestión de operaciones en productos o servicios, control de calidad, logística, investigación de operaciones, salud ocupacional y gestión ambiental, ciencias económicas y administrativas. Es importante resaltar que se encuentra la formación en otros idiomas y hacia el arraigo cultural.

A pesar de ser una carrera que se considera con mejores ingresos promedios, los profesionales se ven afectados por tres problemas en el mercado laboral: la oferta de egresados en determinadas regiones no está en equilibrio con su respectiva demanda, la calidad de la educación ofrecida en muchas instituciones no siempre cumple con los requisitos de las empresas y la falta de habilidades blandas en los egresados que aseguren un desempeño eficiente.

Resulta pertinente mencionar que dentro de las características de un ingeniero industrial deben primar competencias que le permitan trabajar y expresar sus ideas dentro de un equipo multidisciplinar, elaborar propuestas con creatividad, adaptándose y manteniendo un balance sostenible con el entorno.

La carrera seguirá siendo demandada en el mercado laboral peruano. Por lo tanto, su formación en las instituciones continuará, pero concentrada en el control de la

producción, la gestión empresarial, la optimización de procesos, los métodos cuantitativos, la logística y la gestión del conocimiento y la innovación (Ortega y Cárdenas, 2014).

Se requiere trabajar en:

- Intercambios para la inserción en economías globales y generación de conocimiento en los países de la AP, así como su posibilidad de desarrollar, asimilar y adaptar tecnologías para un futuro de la ingeniería industrial.
- Trascender la propia naturaleza manufacturera. La ingeniería industrial está vinculada a una era anterior, la de la era industrial, y debe adecuarse rápidamente a las tendencias y necesidades de la sociedad en la que primará la mentefactura.

Finalmente, desde la perspectiva general sobre la AP, se propone lo siguiente:

- En los países de la AP la ingeniería industrial está regulada por la entidad estatal responsable de la educación. Para el ejercicio profesional, existe una matrícula profesional, para el caso de México y Colombia se expide por una sola vez y es un documento obligatorio. El control y la exigencia dependen del entorno privado más que del estatal.
- Ejecutar las negociaciones en relación con el registro voluntario con los consejos y colegios profesionales de ingeniería de la AP de acuerdo con lo expresado por el COPNIA, desde enero de 2017 para facilitar los permisos temporales del ejercicio profesional de la ingeniería. Por lo anterior, se recomienda operacionalizar el registro profesional en cada país de la AP, elemento que aporte y facilite los procesos de movilidad.
- Fomentar el diálogo con las industrias de los países de la AP, con el propósito de conocer posiciones y puntos comunes que permitan una agenda de trabajo con oportunidades y posibilidades para el fortalecimiento profesional.
- Promover ejercicios de internacionalización de currículos de los países de la AP, con dinámicas como aulas espejo, redes de colaboración académica e investigativa, redes de financiamiento para movilidad, especializaciones por región y un sistema de aulas y cursos virtuales.

REFERENCIAS

- ACOFI, R. (2020). *Lineamientos curriculares para Ingeniería Industrial en Colombia*. Publicaciones ACOFI.
- Adrianzén, D., & Navarro, V. (2020). *Análisis de carga académica de los alumnos de Ingeniería Industrial y de Sistemas de la Universidad de Piura Campus Piura*. [Tesis

de licenciatura]. Pirhua – Repositorio Institucional. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4736>

Alianza del Pacífico (2022, 29 de junio). Presentan proyecto de la Alianza del Pacífico sobre homologación y/o reconocimiento mutuo de las certificaciones de competencias laborales durante Encuentro de Alto Nivel UE-ALC. <https://alianzapacifico.net/presentan-proyecto-de-la-alianza-del-pacifico-sobre-homologacion-y-o-reconocimiento-mutuo-de-las-certificaciones-de-competencias-laborales-durante-encuentro-de-alto-nivel-ue-alc/>

América Economía Intelligence (2018, 24 de octubre). Ranking de universidades del Perú 2018. *América Economía*. <https://www.americaeconomia.com/articulos/notas/ranking-de-universidades-del-peru-2018>

Blanco Martínez, M. (2021, 23 de enero). Sunedu: ranking de universidades. *Rankia*. <https://www.rankia.pe/blog/mejores-universidades-escuelas-peru/4169595-sunedu-ranking-universidades#ranking-sunedu>

Camino de Villa, J., & Chiatchoua, C. (2021). Tendencias del empleo en actividades terciarias para la generación millennial. *Revista Internacional de Salarios Dignos*, –3(2), 22-40. <https://revistasinvestigacion.lasalle.mx/index.php/OISAD/article/view/3109>

Colegio de Ingenieros de Chile (s.f.). *Fundación Colegio de Ingenieros de Chile*. <https://www.ingenieros.cl/fundacion-ci/>

Consejo Profesional Nacional de Ingeniería. (s.f.). *Quiénes somos*. <https://www.copnia.gov.co/nuestra-entidad/quienes-somos>

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (2019). Ranking web de centros de investigación: Latin America. https://research.webometrics.info/es/Americas/Latin_America

European Commission. (s. f.). *European Credit Transfer and Accumulation System*. <https://education.ec.europa.eu/education-levels/higher-education/inclusive-and-connected-higher-education/european-credit-transfer-and-accumulation-system>

Gobierno de España. (2003). Real Decreto 1125/2003. Por el que se establece el sistema europeo de créditos y el sistema de calificaciones en las titulaciones universitarias de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional. 5 de septiembre del 2003. Boletín Oficial del Estado núm. 224.

Institute of Industrial & System Engineers (s. f.). *Acerca del IISE*. Recuperado el 2 de diciembre de 2021. <https://www.iise.org/details.aspx?id=282>

Ministerio de Relaciones Exteriores de Colombia (s.f.). *Alianza del Pacífico*. Consultado el 1 de diciembre del 2020. <https://www.cancilleria.gov.co/international/>

consensus/pacific-alliance#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%3F,un%20
eje%20transversal%20de%20cooperaci%C3%B3n.

Ortega, F. & Cárdenas, G. (2014). *Estudio de prospectiva sobre el futuro de la ingeniería industrial en el Perú al 2025*. Instituto de Investigación Científica de la Universidad de Lima. https://www.ulima.edu.pe/sites/default/files/research/files/presentacion_de_informe_final_39.pdf.

Red de Decanos y Directores de Ingeniería Industrial. (2018). *Elementos sobre internacionalización para los programas de ingeniería industrial*. Publicaciones ACOFI.

República de Colombia. (1991). Constitución Política de Colombia de 1991. <https://www.constitucioncolombia.com/titulo-2/capitulo-1/articulo-26>

República de Colombia. (2003a). Decreto 2566 de 2003. Por el cual se establecen las condiciones mínimas de calidad y demás requisitos para el ofrecimiento y desarrollo de programas académicos de educación superior y se dictan otras disposiciones. https://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-86425_Archivo_pdf.pdf

República de Colombia. (2003b). Ley 842 de 2003. Por la cual se modifica la reglamentación del ejercicio de la ingeniería, de sus profesiones afines y de sus profesiones auxiliares, se adopta el Código de Ética Profesional y se dictan otras disposiciones. https://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-105031_archivo_pdf.pdf

Rojas, D. (2018, 18 de julio). Las carreras más solicitadas por empresas mexicanas. *El Dictamen*. <https://www.eldictamen.mx/nacional/las-carreras-mas-solicitadas-por-empresas-mexicanas/>

Sánchez Celis, J. C. (2021). *Presente y futuro de la ingeniería industrial en las instituciones de educación superior (IES) acreditadas de la ciudad de Bogotá* [Tesis de maestría]. Repositorio digital de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. <https://escuelaing-dspace.metabiblioteca.com.co/handle/001/1479>

Secretaría de Educación Pública. (2020, 21 de enero). *Visión y misión de la SEP*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/sep/acciones-y-programas/vision-y-mision-de-la-sep>

Secretaría de Educación Pública & Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (2007). Sistema de asignación y transferencia de créditos académicos SATCA. <http://ces.cs.buap.mx/SATCA.pdf>

Sossa, Z., Orozco, G., Arango, B., Velez, F., Cortes, I., Agudelo, A., & Ríos, L. (2013). Análisis comparativo de programas de pregrado en ingeniería industrial en algunos países miembros de la OEI. *Latin American & Caribbean Journal of Engineering Education*, 7 (1).

AUTORES

EVALUACIÓN LOGÍSTICA DE UNA PYME COMO ESTRATEGIA PARA SU DESEMPEÑO ORGANIZACIONAL

ANICE DEL ÁNGEL-CORONEL

Ingeniera de Sistemas Computacionales y estudiante de maestría en Ingeniería Industrial con especialidad en Sistemas Virtuales de Producción por el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca (Tecnológico Nacional de México - Campus Tantoyuca). Ha participado en el XXXIII Encuentro Nacional de Investigación Científica y Tecnológica del Golfo de México, organizado por la Academia Tamaulipeca de Investigación Científica y Tecnológica, A. C. (ATICTAC) con el trabajo "Diseño de un sistema de medición y monitoreo para la estimación de la calidad del aire".

ERNESTINA HERNÁNDEZ-OSORIO

Egresada en Ingeniería Ambiental por el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca (ITSTA), estudiante de maestría en Ingeniería Industrial con especialidad en Sistemas Virtuales de Producción en el Tecnológico Nacional de México - Campus Tantoyuca. Becaria CONACYT.

FABIOLA SÁNCHEZ-GALVÁN

Doctora en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro por la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México. Docente investigadora de tiempo completo en el Tecnológico Nacional de México, campus ITS de Tantoyuca. Ha publicado artículos científicos y capítulos de libros en el ámbito de cadenas de suministro agroalimentarias y sustentables. También ha participado como colaboradora en proyectos de investigación y desarrollo tecnológico financiados por el TecNM. Ha sido directora de tesis de

maestría en Ingeniería Industrial. Líder del cuerpo de investigación Sistemas Virtuales de Producción autorizado por el Programa de Desarrollo del Docente perteneciente al Tecnológico Nacional de México.

ROGELIO GARCÍA-RODRÍGUEZ

Magíster en Ciencias de la Computación con especialidad en Optimización Inteligente por el Instituto Tecnológico de Ciudad Madero (ITCM) y docente de la maestría en Ingeniería Industrial y de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca. Ingeniero en Sistemas Computacionales con especialidad en Desarrollo de Software por el ITCM. Autor de publicaciones científicas tales como "A genetic algorithm to solve a three-echelon capacitated location problem for a distribution center within a solid wasted management system in the northern region of Veracruz". Cuenta con experiencia en formación de recursos humanos, área en la que ha impartido asignaturas de licenciatura y maestría desde el año 2013. Ha sido director de tesis de maestría con temas que abarcan desde el uso de técnicas de inteligencia artificial hasta el desarrollo de prototipos, tales como "Sistema de detección del estro bovino mediante Arduino y lógica difusa".

EL PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN Y LA INCERTIDUMBRE EN EL SECTOR MANUFACTURA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

GUSTAVO ADOLFO LUNA-VICTORIA-LEÓN

Ingeniero industrial por la Universidad de Lima, MBA por la Universidad del Pacífico, egresado del doctorado en Negocios Globales por la Universidad Ricardo Palma, Certificado en Gestión de Proyectos – PMP. Cuenta con más de 33 años de trabajo en el sector tecnológico/digital, en las áreas comerciales, de operaciones y de proyectos. Actualmente se desempeña como Key Account Manager en Telefónica del Perú. Cuenta con más de 15 años como docente universitario, actualmente en la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima. Con las ponencias "Sistema de Inversión Pública – ¿Funciona o no?" en el 2008 y "Enverdeciendo su empresa" en el 2010, ha participado en los congresos del Project Management Institute. Es coautor del artículo "Investigación científica del grafeno en la industria de la construcción".

MARTÍN FIDEL COLLAO-DÍAZ

Ingeniero Industrial por la Universidad de Lima y MBA con mención en Dirección General por la Universidad ESAN. Líder con carrera internacional y local en gestión de la cadena

de suministro, operaciones y logística, con más de 23 años de experiencia en empresas nacionales y transnacionales del sector industrial y consumo masivo en la industria química, veterinaria, de hidrocarburos, construcción y textil. Más de 10 años como docente universitario en las carreras de Ingeniería Industrial, Ingeniería Empresarial, Negocios Internacionales y Administración. Coautor de diversas investigaciones orientadas a la Ingeniería Industrial.

JORGE ANTONIO CORZO-CHÁVEZ

Magíster en Administración por la Universidad ESAN. Magíster en Marketing Science por ESIC Business & Marketing School, España. Ingeniero Industrial por la Universidad de Lima. Actualmente es gerente general de Conquista Lab, consultor de empresas multinacionales y docente de la Universidad de Lima. Cuenta con más de quince años de experiencia en marketing, gestión comercial, emprendimiento e innovación en los sectores de construcción, metalmecánica, minería, servicios y educación. Se desempeñó como coordinador del Centro de Emprendimiento de la Universidad de Lima y trabajó en Corporación Aceros Arequipa S.A. en las áreas de marketing y comercial para segmentos *retail* e industrial.

RICHARD NICHOLAS MEZA-ORTIZ

Magíster en Administración Estratégica de Empresas por Centrum PUCP Business School. Especialización en Logística y Operaciones por la Universidad ESAN. Ingeniero Industrial por la Universidad de Lima. Actualmente es supply chain manager en Tecnología Química y Comercio con más de 15 años de experiencia en gestión de la cadena de suministros en empresas de consumo masivo, automotriz, *retail* y agroquímicos. Cuenta con amplia experiencia liderando y gestionando procesos de planeación de cadena de suministros, S&OP, abastecimiento, almacenes y distribución. Tiene más de seis años de experiencia docente en la Universidad de Lima.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIO DE UNA TIENDA DE JUGUETES

ABDEL BERMUDEZ DEL SOL

Docente investigador titular principal de la Universidad Regional Autónoma de los Andes (UNIANDES) de Ecuador. Es doctor en Ciencias y magíster en Farmacia Clínica por la Universidad de la Habana, Cuba, así como licenciado en Ciencias Farmacéuticas por la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba. Ha participado como

ponente en más de treinta congresos internacionales y cuenta con más de 50 publicaciones científicas.

NEYFE SABLÓN-COSSÍO

Es doctora en Ciencias Técnicas en Ingeniería Industrial, magíster en Administración de Empresas e ingeniera industrial por la Universidad de Matanzas, Cuba. Es docente e investigadora del Instituto de Posgrados de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador y coordinadora del grupo de producción y servicios de la carrera de Ingeniería Industrial y la Maestría de Ingeniería Industrial en la misma institución. Ha publicado artículos en revistas especializadas y ofrecido conferencias acerca de cadenas de suministro en México, Cuba y Ecuador. Sus intereses de investigación incluyen administración, negocios, logística, operaciones, suministro y cadenas de valor.

EDISON ISMAEL ESCOBAR BARROSO

Ingeniero contable y auditor de la Facultad de Sistemas Mercantiles de la Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ecuador.

RICARDO LARRY CASTRO COELLO

Magíster en Calidad por la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, Cuba, y magíster en Gerencia Educativa por la Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador. Es también ingeniero industrial por la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, donde es docente e investigador de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas y responsable de las prácticas preprofesionales y pasantías. Es miembro del grupo de investigación de la calidad de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de la Habana, Cuba. Ha publicado artículos en revistas especializadas y presentado ponencias en congresos y jornadas académicas.

ROGELIO SUÁREZ-MELLA

Doctor en Ciencias Técnicas por la Universidad Tecnológica de la Habana, Cuba, e ingeniero industrial y magíster en Gestión Turística por la Universidad de Matanzas, Cuba. Asimismo, cuenta con una especialización en Organización de la Producción en el Instituto Karl Marx Stard, Alemania. Es docente e investigador de la Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Ha realizado 96 ponencias en congresos y jornadas académicas, ha publicado 46 artículos científicos en revistas indexadas y ha escrito 12 libros relacionados con las Ciencias Empresariales. Sus intereses de investigación incluyen la logística empresarial, la gestión de la producción y los servicios, la gestión de la innovación y la tecnología y la administración de la cadena de suministro.

DESCRIPCIÓN DE PRÁCTICAS DE ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES APLICADAS A LA GESTIÓN DE SERVICIOS HOSPITALARIOS: UN ANÁLISIS DE LA LITERATURA

YASNIEL SÁNCHEZ SUÁREZ

Doctorando del programa de Ingeniería Industrial e ingeniero industrial por la Universidad de Matanzas, Cuba; es también especialista en Calidad y profesor del Departamento de Ingeniería Industrial de la misma casa de estudios. Autor y coautor de más de 15 artículos científicos relacionadas con la gestión hospitalaria, empresarial y urbana, entre los que se puede citar: "Análisis estructural de la gestión de flujo de pacientes con coronavirus en Cuba", indexado en Scielo. Actualmente colabora en un libro sobre los impactos del COVID-19 en Latinoamérica. Es miembro de proyectos de investigación a nivel nacional, como "Perfeccionamiento de los procesos de la cadena de suministro", y sectorial, como "Gestión de la ciencia y la innovación tecnológica para la mejora de la calidad en salud".

SHABELIS DE LA CARIDAD ESTUPIÑÁN LÓPEZ

Ingeniera industrial por la Universidad de Matanzas, Cuba. Ha seguido estudios en Administración, Planificación y Programación de Operaciones en el programa de maestría en Administración de Empresas con mención en Gestión de la Producción y los Servicios de la misma institución, donde también es especialista en Recursos Humanos y profesora del Departamento de Ingeniería Industrial. Ha participado en más de 10 eventos internacionales. Sus líneas de investigación incluyen la gestión por procesos, la gestión del conocimiento y la gestión de servicios de salud.

MAYLÍN MARQUÉS LEÓN

Doctora en Ciencias Técnicas, magíster en Administración de Empresas e ingeniera industrial por la Universidad de Matanzas, Cuba, donde actualmente es profesora titular. Es miembro del Tribunal Nacional Permanente para la obtención del grado científico de doctor en Ciencias Técnicas. Ha participado en la elaboración de cuatro libros, ha publicado más de 20 artículos en revistas científicas y ha hecho más de 100 presentaciones en eventos científicos. Ha impartido cursos en Chile, Venezuela, México y colaborado con actividades de posgrado en España. Ha recibido varios premios, entre ellos los de Innovación Tecnológica, Impacto Social y Joven Investigador CITMA. Entre sus líneas de investigación se cuentan la administración de operaciones, la gestión de procesos, la dirección estratégica y la gestión de cadenas de suministro.

ARIALYS HERNÁNDEZ NARIÑO

Doctora en Ciencias Técnicas, magíster en Administración de Empresas e ingeniera industrial por la Universidad de Matanzas, Cuba, donde se desempeña como profesora

titular. Es también magíster en Turismo Internacional por la Universidad de Limerick, Irlanda. Es directora de Ciencia e Innovación Tecnológica de la Universidad de Ciencias Médicas de Matanzas, Cuba. Ha participado en la elaboración de seis libros y capítulos de libros, de 70 artículos publicados en revistas científicas y 120 trabajos presentados en eventos científicos. Cuenta con premios como autora y colaboradora: CITMA, Mejor Profesor en Investigación, Premio Anual del MÊS y Premio Academia de Ciencias. Entre sus líneas de investigación se cuentan la gestión por procesos, la gestión de la cadena de suministro, la gestión en salud, la gestión del conocimiento y la gestión de la calidad.

ALBERTO ARNALDO MEDINA LEÓN

Doctor en Ciencias Técnicas por la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba, magíster en Gestión de Empresas Turísticas por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España, magíster en Ciencias de la Educación Superior con mención en Docencia Universitaria e Investigación Educativa por la Universidad de Matanzas, Cuba e ingeniero industrial por la misma institución, donde también es profesor titular de Administración de Empresas y director de Relaciones Internacionales. Ha participado en la elaboración de más de 20 libros y cuenta con más de 150 artículos publicados en revistas científicas y más de 200 trabajos presentados en eventos científicos. Asimismo, es vicepresidente del Tribunal Nacional Permanente de Grado Científico de Cuba para Ingeniería Industrial. Entre sus líneas de investigación se cuentan la gestión por procesos, el control de gestión, la administración de operaciones y la gestión del conocimiento.

DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA BIODEGRADACIÓN DE RESIDUOS DE ACEITE LUBRICANTE RETENIDOS EN BENTONITA USANDO EL CONSORCIO BACTERIANO *OIL EATING MICROBES (RODHOCOCUS, PSEUDOMONAS Y BACILLUS)*

JAQUELINE HEIDY CHIRRE FLORES

Magíster en Ingeniería Química por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos e ingeniera petroquímica por la Universidad Nacional de Ingeniería, institución en la que es docente en Ingeniería Petroquímica en el nivel superior de la Facultad de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica, así como de la Facultad de Ciencias en la Universidad Privada del Norte. Cuenta con experiencia en empresas privadas de la industria química y petroquímica así como en el análisis de procesos industriales en el Perú. Es autora de publicaciones en colaboración como "Identificación de los principios activos de la mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) y el efecto del proceso de elaboración de una bebida mix de mashua con piña".

OSIRIS FELICIANO MUÑOZ

Magíster en Ciencias con mención en Proyectos de Inversión por la Universidad Nacional de Ingeniería e ingeniero industrial por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, donde se desempeña como docente principal de la Facultad de Ingeniería Industrial. Es especialista en Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión y autor de publicaciones en colaboración como "Identificación de los principios activos de la mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) y el efecto del proceso de elaboración de una bebida mix de mashua con piña" y "Estudio del consumo de azúcares reductores durante la fermentación alcohólica del mosto de uva Italia para la obtención de vino blanco".

ROBERTO ROBLES CALDERÓN

Magíster en Ingeniería Química e ingeniero químico por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, institución en la que se desempeña como docente del Departamento Académico de Operaciones Unitarias de la Facultad de Química e Ingeniería Química. Es asesor de empresas agroindustriales y asociaciones de agricultores y autor de publicaciones en colaboración como: "Identificación de los principios activos de la mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) y el efecto del proceso de elaboración de una bebida mix de mashua con piña" y "Estudio del consumo de azúcares reductores durante la fermentación alcohólica del mosto de uva Italia para la obtención de vino blanco".

INFLUENCIA DE LA POSICIÓN DEL SENSOR MQ-6 Y EL TIEMPO TRANSCURRIDO EN LA DETECCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE GLP EN UNA FUGA DOMÉSTICA

ALEJANDRO BUENO VERA

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima, especializado en optimización de procesos y data science. Cuenta con experiencia profesional en gestión de proyectos de diseño, cálculo y fabricación metalmecánica así como en análisis descriptivo y predictivo de datos para mypes y proyectos de tesis. A la fecha es consultor de BI en una empresa de servicios geometalúrgicos para minas.

GIANFRANCO LUIS ORTIZ

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Ha trabajado en empresas textiles en el área de calidad y mejoramiento de procesos. Actualmente trabaja en una empresa propia en el área gastronómica y hotelera.

JOSÉ ANTONIO TAQUÍA GUTIÉRREZ

Magíster en Ingeniería con estudios de doctorado en Ingeniería Industrial e ingeniero industrial por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Es miembro del Instituto de Investigación Científica de la Universidad de Lima. Ha laborado en empresas internacionales en el diseño e implementación de tecnología orientada al desarrollo de aplicaciones analíticas. Actualmente desarrolla proyectos de investigación en operaciones, cadenas de abastecimiento y proyectos de educación con impacto social. Es también autor de artículos en revistas científicas y expositor en congresos científicos internacionales de Ingeniería.

EVALUACIÓN DE LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR LODOS DE DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE VALENCIA: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

HERALDO MANUEL BETANCOURT ROMERO

Magíster en Gestión de Recursos Hídricos por la Universidad Politécnica de Valencia, España e ingeniero químico por la Universidad Técnica de Machala, Ecuador. Actualmente se desempeña como supervisor de la planta de agua de Tengel-Guayas. Su investigación se centra en la purificación potable y descontaminación y tratamiento de aguas residuales.

BYRON GONZALO LAPO CALDERÓN

Candidato a doctor en Ingeniería de Procesos Químicos en la Universidad Politécnica de Cataluña, España, magíster en Ingeniería Ambiental por la Escuela Politécnica Nacional de Ecuador e ingeniero químico por la Universidad Técnica de Machala, Ecuador, donde actualmente se desempeña como docente. Es coordinador del grupo de investigación BIOeng. Su investigación se centra en el desarrollo de materiales biopoliméricos y su aplicación a procesos de extracción y separación selectiva de metales de interés económico, purificación y descontaminación de aguas.

JOSÉ HUMBERTO AYALA ARMIJOS

Candidato a doctor en Biotecnología Avanzada en la Universidad de La Coruña, España, magíster en Procesamiento de Alimentos por la Escuela Agraria del Ecuador e ingeniero en alimentos por la Universidad Técnica de Machala, Ecuador. Actualmente se desempeña como docente titular de la Universidad Técnica de Machala y es editor temático de la revista *Biotecnología* (área de biotecnología alimentaria) de la misma universidad. Su investigación se centra en el desarrollo de bioprocesos agroalimentarios e industriales.

CUADRO DE MANDO INTEGRAL EN LA EMPRESA DE SERVICIOS ARPAZ CO.

TITO FRANKLIN ARTEAGA

Magister en Zootecnia con mención en Producción Ganadera Sostenible e ingeniero zootecnista por la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Actualmente es director de comercialización de la empresa Agro Servicios PVL Cía. Ltda. y presidente del Centro Agrícola Cantonal de Chone, así como gerente general de la empresa de Servicios ARPAZ Co. Trabaja en el ámbito agrícola y ganadero y tiene intereses de investigación en administración, negocios, logística, operaciones, suministro y administración de cadenas de valor.

RENIER ESQUIVEL GARCÍA

Doctor en Ciencias Técnicas por la Universidad Central de La Villas, Cuba, magíster en Dirección por la Universidad de Sancti Spiritus, Cuba, e ingeniero industrial por la Universidad Central de La Villas. Cuenta con experiencia laboral de ocho años como director de Talento Humano en la Universidad de Sancti Spíritus. Actualmente es docente principal a tiempo completo en la Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Es autor de más de 40 publicaciones en temas relacionados con la administración empresarial y la gestión del talento humano y cuatro libros relacionados con los fundamentos de la administración, la comunicación y la gestión del talento humano basado en competencias laborales.

ANÁLISIS DEL DESARROLLO Y POTENCIAL DE LA ENERGÍA EÓLICA EN EL PERÚ

ANDRÉS GORDILLO VALDEZ

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima, cuenta con experiencia en auditoría interna y marketing en Pandero S.A. EAFC y con experiencia en auditoría, cumplimiento y gestión de riesgos en KPMG Asesores S.R.L. Cuenta con conocimientos en tecnologías limpias y mejora de procesos.

MATEO MONTOYA GRANDA

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima, cuenta con experiencia en mejora de procesos en Telefónica del Perú S.A.A. y con experiencia en consultoría de procesos en BDO Consulting S.A.C. Cuenta con conocimientos en logística avanzada y gestión de la cadena de suministros.

PEDRO ARTURO SALINAS PEDEMONTE

Magíster en Administración de Negocios e ingeniero industrial por la Universidad de Lima. Ha ocupado cargos como jefe del Departamento de Mercadotecnia y gerente de Ventas de Vehículos Comerciales en Ferreyros S.A. Es perito tasador de bienes muebles y docente principal nombrado en cursos de marketing y proyectos de investigación en la Universidad de Lima. Es autor del libro *Manual de información y herramientas estadísticas aplicadas a la investigación de mercado*. Ha sido asesor de diversas tesis en Ingeniería Industrial.

**ANÁLISIS DE LOS PLANES DE ESTUDIO Y EL EJERCICIO PROFESIONAL
DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL EN LOS PAÍSES DE LA ALIANZA DEL PACÍFICO**

LUIS ALBERTO GONZÁLEZ ARAUJO

Ingeniero civil con estudios de posgrado en Diseño, Construcción y Conservación de Vías por la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Actualmente es director ejecutivo de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería ACOFI. Ha sido editor de las memorias de las Reuniones Nacionales de Facultades de Ingeniería (2007-2012) y de varias publicaciones sobre enseñanza de la ingeniería.

SONIA ALEXANDRA JAIMES SUÁREZ

Magíster en Ingeniería Industrial por la Pontificia Universidad Javeriana de Colombia e ingeniera industrial y especialista en Economía para Ingenieros por la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Cuenta con experiencia profesional en el sector de educación superior. Actualmente es decana del programa de Ingeniería Industrial y directora de la maestría en Ingeniería Industrial así como profesora asociada de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Cuenta con publicaciones científicas y de divulgación en el área de la gestión de la educación y en el área de optimización de operaciones.

LUZ MARINA PATIÑO NIETO

Ingeniera industrial por la Universidad de Ibagué con especialización en Ingeniería de Producción y en Docencia Universitaria por la Universidad Piloto de Colombia. Cuenta con experiencia profesional como docente, investigadora, directora de programas académicos y decana de Ingeniería en diferentes instituciones de educación superior. Adicionalmente, es participante activa en redes académicas de Ingeniería. Actualmente es coordinadora de investigación de la Facultad de Ingeniería de la Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt. Cuenta con publicaciones científicas y de divulgación en el área de la gestión de la educación y de optimización de operaciones.

JOSEPH VOELKL PEÑALOZA

Magíster en Engineering Management por el School of Engineering de la Universidad de Greenwich, Reino Unido, e ingeniero industrial por la Pontificia Universidad Javeriana de Colombia. Asimismo, es coach internacional con PNL certificado con el ICC. Cuenta con experiencia profesional y docente en Voelkl & Voelkl Consultores, Götterspeise Ltda., la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, la Pontificia Universidad Javeriana, Emcoclavos S. A. y Avianca S. A. Ha sido decano del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y actualmente es profesor asistente y coordinador del Laboratorio de Liderazgo Institucional de la misma casa de estudios. Cuenta con publicaciones científicas y de divulgación en las áreas de gestión de la educación, desarrollo del talento humano y gestión de servicios.

CAROLINA RICO RESTREPO

Magíster en Ingeniería Industrial con mención en Dirección y Gestión de Organizaciones por la Universidad de los Andes de Colombia e ingeniera industrial por la Pontificia Universidad Javeriana del mismo país. Ha sido secretaria académica y decana de Ingeniería Industrial e Ingeniería Ambiental, así como directora del Programa de Ingeniería Industrial y de la Especialización en Gerencia de Producción de la Universidad El Bosque, donde ha sido también Coordinadora de extensión y encargada de las Áreas de Responsabilidad Social y de Internacionalización de la Facultad de Ingeniería. Es conferencista a nivel nacional e internacional y cuenta con publicaciones científicas y de divulgación en las áreas de gestión de la educación y de responsabilidad social.

Evaluación logística de una pyme como estrategia para su desempeño organizacional

El plan maestro de producción y la incertidumbre en el sector manufactura: una revisión sistemática de literatura

Diseño de un sistema de control de inventarios de una tienda de juguetes

Descripción de prácticas de administración de operaciones aplicadas a la gestión de servicios hospitalarios: un análisis de la literatura

Determinación del rendimiento de la biodegradación de residuos de aceite lubricante retenidos en bentonita usando el consorcio bacteriano *oil eating microbes* (*Rodhococcus*, *Pseudomonas* y *Bacillus*)

Influencia de la posición del sensor MQ-6 y el tiempo transcurrido en la detección de concentración de GLP en una fuga doméstica

Evaluación de la obtención de carbón activado a partir de lodos de depuradoras de aguas residuales de la comunidad de Valencia: revisión bibliográfica

Cuadro de mando integral en la empresa de servicios ARPAZ CO.

Análisis del desarrollo y potencial de la energía eólica en el Perú

Análisis de los planes de estudio y el ejercicio profesional de la Ingeniería Industrial en los países de la Alianza del Pacífico