

INGENIARE

Año 16 • No. 28 • Junio 2020 • Barranquilla - Colombia • ISSN 1909-2458



UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍAS
Seccional Barranquilla



DIRECTIVAS

Presidente Nacional:	<i>JORGE ALARCÓN NIÑO</i>
Rector Nacional:	<i>FERNANDO DEJANÓN RODRÍGUEZ</i>
Censor Nacional:	<i>RICARDO ZOPÓ MÉNDEZ</i>
Director Nacional de Investigaciones:	<i>ELIZABETH VILLARREAL CORRECHA</i>
Presidente Delegado:	<i>BEATRIZ TOVAR CARRASQUILLA</i>
Rector Seccional:	<i>MAURICIO MOLINARES CAÑAVERA</i>
Director Seccional de Investigaciones:	<i>WENDY ROSALES RADA</i>
Decano Facultad de Ingeniería:	<i>DIEGO SUERO PEREZ</i>

INGENIARE

EDITOR: M.Sc. Ricardo De La Hoz Lara

ASISTENTE EDITORIAL: Ing. Juan Carlos Miranda Passo

COMITÉ EDITORIAL

Ph.D. REYNALDO VELÁZQUEZ ZALDÍVAR
Universidad Óscar Lucero Moya - Holguín, Cuba

Ph.D. LILIA MENDOZA VEGA
Universidad Libre - Seccional Barranquilla

M.Sc. LUIS ORTIZ OSPINO
Universidad Simón Bolívar

M.Sc. GLORIA NARANJO AFRICANO
Universidad del Atlántico

COMITÉ CIENTÍFICO

Ph.D. ARISTIDES BARAYA
Southeastern Louisiana University, USA.

Ph.D. JAIDER VEGA JURADO
Universidad del Norte, Colombia

Ph.D. RICARDO SILVEIRA MARTINS
Universidade Federal de Mina Gerais, Brasil

Ph.D. RODOLFO GARCIA FLORES
Commonwealth Scientific and Industrial
Research Organisation – CSIRO, Australia

Ph.D. CECILIA MONTT VEAS
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso,
Chile

Revista

INGENIARE

Año 16 No. 28 Junio 2020

Ediciones

Universidad Libre Seccional Barranquilla

Apartado Aéreo 1752 Sede Principal de Barranquilla

Km. 7 antigua carretera a Puerto Colombia

Comunica a todas las dependencias PBX: 3673800

revistaingeniare@unilibrebaq.edu.co

www.unilibrebaq.edu.co



La revista *Ingeniare* es editada bajo una licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. Se autoriza la citación, uso y reproducción parcial o total de los contenidos, para lo cual se deberá citar la fuente.



Imagen de portada:

"Diseñada por fanjianhua / Freepik"

Diagramación e impresión

Xpress Estudio Gráfico y Digital - Xpress kimpres

PBX: 602 0808

Bogotá, D.C.

Contenido

Content

Editorial	7
<i>Ricardo De la Hoz L.</i> <i>Editor</i>	
Diagnóstico para la mejora continua del sistema productivo: rediseño y adaptación para mipymes	11
<i>Diagnosis for the continuous improvement of the production system: redesign and adaptation for MSME'S</i> <i>Vera J. Santiago Martínez</i> <i>Jorge Alberto Oviedo Zabala</i>	
Valoración de acetinas como reemplazo parcial de aceite nafténico en compuestos de caucho SBR1502	23
<i>Assessment of acetines as a partial replacement of naftenic oil in SBR1502 composites</i> <i>Arnoldo Emilio Delgado Tobón</i> <i>Esperanza Rodríguez Carmona</i>	
Herramientas de software libre para la creación de contenidos educativos	35
<i>Free software tools for the creation of educational content</i> <i>Julián Santiago Santoyo Díaz</i> <i>Karen Hapuc Serrano Medina</i>	
Aprendizaje automático para la predicción de calidad de agua potable	47
<i>Machine learning for predicting drinking water quality</i> <i>Andrea C. Aguilar Aguilar</i> <i>Francisco F. Obando-Díaz</i>	
Nuevas tendencias para una logística sostenible con el medio ambiente	63
<i>New trends for environmentally sustainable logistics</i>	
<i>Hugo Hernández Palma</i> <i>Remedios Pitre Redondo</i> <i>Norma Sánchez Martínez</i>	

Desarrollo de un dispositivo que deseche las heces de perro sin el uso de bolsas plásticas.....	73
<i>Development of a device that disposes dogs feces without the use of plastic bags</i>	
<i>Julián David Sánchez Quijano</i>	
<i>Alejandro Tolosa Robayo</i>	
<i>Ivonne Angélica Castiblanco Jiménez</i>	

EDITORIAL

La revista *Ingeniare* publica artículos derivados de la investigación científica en las distintas áreas de ingeniería y otras ciencias afines, con el fin de convertirse en un instrumento para la difusión de la investigación, el desarrollo tecnológico y los resultados de investigación en la comunidad científica y académica. Cada día la revista hace un esfuerzo por mejorar su calidad y compromiso ético, apegándose a los estándares de buenas prácticas editoriales y buscando aumentar su visibilidad en bases de datos y servicios de indexación reconocidos.

En este número de la revista se tratan artículos relacionados con ciencia de computación desde dos posturas: la enfocada al uso de técnicas de optimización (colonia de hormigas y algoritmos genéticos), y la centrada en la aplicación de software libre en metodologías de enseñanza. En lo concerniente a los sistemas de producción, contamos con tres artículos de temas distintos: técnicas de predicción en la calidad de agua potable; las tendencias en la logística sostenible y los sistemas productivos en las MIPYMES. Finalmente, tenemos la oportunidad de tocar temas de desarrollo tecnológico con un artículo relacionado con el desarrollo de un peculiar dispositivo para recolección de desechos y con otro que habla sobre el uso de sustitutos en el desarrollo de compuestos de caucho.

La revista *Ingeniare* continúa abriendo espacio para la publicación de los trabajos científicos que muestra el resultado de investigaciones originales, sin quitar espacio a los que tocan los temas de desarrollo tecnológico y la innovación, sobre todo en el ámbito empresarial. Seguimos invitando a toda la comunidad científica y académica a considerar a *Ingeniare* como una fuente de conocimiento y como un espacio para la publicación de sus escritos.

Ricardo De la Hoz L.
Editor

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Diagnóstico para la mejora continua del sistema productivo: rediseño y adaptación para mipymes

Diagnosis for the continuous improvement of the production system: redesign and adaptation for MSME'S

Vera J. Santiago Martínez¹
Jorge Alberto Oviedo Zabala²

DOI: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.28.6658>

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue el rediseño y la adaptación de una herramienta de diagnóstico del sistema productivo para su uso en micro, pequeñas y medianas empresas manufactureras. El fundamento teórico lo constituye el trabajo de Rajadell Carreras, formulado en el 2005, a partir del cual se desarrolló un cuestionario que permite evaluar de forma preliminar el estado de una mipyme ante un proceso de mejora continua. Las mipymes buscan la mejora que pueda ayudarlas a lograr mayor competitividad y les permita asegurar su supervivencia en el mercado. A lo largo del documento se presenta la base teórica de la investigación, su metodología y la herramienta de diagnóstico rediseñada y adaptada para mipymes. Esta última consta de cincuenta preguntas relacionadas a nueve áreas que permiten obtener una valoración de tres estados en cada una de ellas.

Palabras clave: Diagnóstico empresarial; Modelo de integración; Mipymes; Competitividad; Valor agregado; Mejora continua; Autodiagnóstico.

ABSTRACT

The aim of this research was to redesign and adapt a diagnostic tool for the production system for use in micro, small and medium enterprises (MSME) manufacturers. The theoretical basis was the research of Rajadell Carreras, published on 2005, from which a questionnaire was developed that allows a preliminary assessment of the status of a MSME in face of a continuous improvement process. MSME seek improvement to compete and survive in actual markets. The theoretical framework and research methodology are the introduction for understand the redesigned tool. The main purpose of this document is explaining the diagnostic survey and how it works. The survey has fifty questions related nine key fields to evaluate the production system in a MSME and to identify the status on each of them. The initial status will be the starting point to the continuous improvement process.

Keywords: Business diagnostics; Integration model; MSME; Competitiveness; Value added; Continual improvement; Self; Diagnosis.



Como citar este artículo: V. J. Santiago Martínez y J. A. Oviedo Zabala, Diagnóstico para la mejora continua del sistema productivo: rediseño y adaptación para mipymes, *ingeniare*, vol. 2, n.º 28, jun. 2020.

1. PhD; Profesor Ingeniería Industrial Universidad Autónoma del Caribe. Correo: verasantiago@uac.edu.co
2. Ingeniero Industrial; Correo: jorgeoviedo_07@gmail.com, Universidad Autónoma del Caribe.

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia las empresas se clasifican en micro, pequeñas, medianas y grandes empresas, según la Ley 590 de 2000, conocida como la Ley Mipymes, y sus modificaciones. Para todos los efectos, se entiende por micro, pequeña y mediana empresa toda unidad de explotación económica, realizada por persona natural o jurídica, en actividades empresariales, agropecuarias, industriales, comerciales o de servicios, rural o urbana, que responda a los siguientes parámetros:

1. Microempresa: a) planta de personal no superior a los diez trabajadores; b) activos totales por valor inferior a 501 salarios mínimos mensuales legales vigentes.
2. Pequeña empresa: a) planta de personal entre 11 y 50 trabajadores; b) activos totales por valor entre 501 y menos de 5000 salarios mínimos mensuales legales vigentes.
3. Mediana empresa: a) planta de personal entre 51 y 200 trabajadores; b) activos totales por valor entre 5001 y 15 000 salarios mínimos mensuales legales vigentes [1].

Al año de 2019, en Colombia se encontraban 2,5 millones de micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes), según estadísticas de la Confederación Colombiana de Cámaras de Comercio-Confecámaras. Por distribución geográfica, las mipymes se encuentran ubicadas, principalmente, en Bogotá, Cundinamarca, Atlántico, Antioquia, Valle del Cauca y Santander; este grupo de empresas representa el 66 % del aparato productivo nacional [2, 3]. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), las mipymes generan alrededor del 67 % del empleo y aportan el 28 % del producto interno bruto (PIB). Según el Registro Único Empresarial y Social en el país, el 94,7 % de las empresas registradas son microempresas y el 4,9% pequeñas y medianas [4].

Las mipymes son fundamentales para el sistema productivo colombiano. No obstante, existen varias fallencias en el sector reveladas por la Gran Encuesta Pyme (GEP) que lleva a cabo la Asociación Nacional de Instituciones Financieras (ANIF), junto con Bancoldex, el Banco de la República y la colaboración del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). En primer lugar, aparece la visión de muy corto plazo que tienen los empresarios de este tipo de empresas. El empresario pyme hace muy poca planificación de su negocio o la hace a un corto plazo (seis meses o máximo un año), lo que reduce sus posibilidades de crecer. Para este tipo de empresas la prioridad es atender los asuntos del día a día, de modo que se dejan de lado temas que pueden marcar la diferencia en los mercados, como, por ejemplo, la generación de valor agregado. Un tercer factor que las afecta es el bajo nivel de diversificación de los mercados.

Además, al igual que las grandes empresas, las mipymes reciben presión con miras a ser competitivas. La implementación de un sistema de calidad y su integración con otras normas resulta importante para las micro, pequeñas y medias empresas, ya que les permite mantenerse competitivas en el mercado.

Asimismo, deben estas cumplir la reglamentación obligatoria, la cual es independiente de su tamaño o del sector al que pertenezcan, como el sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo. No es desconocido que el sector enfrenta retos al implementar estas acciones, bien sea por la disponibilidad de recursos a invertir, o bien a causa de la estructura de sus procesos o su nivel de desarrollo organizacional. Por tanto, para afrontar estos procesos en busca de la mejora es necesario un diagnóstico acertado de la empresa que permita encaminar las acciones no solo hacia el cumplimiento, sino además hacia su productividad y competitividad.

2. METODOLOGÍA

La metodología de trabajo de esta investigación involucró revisión de literatura con el fin de formular una herramienta tipo cuestionario que está basada en el trabajo de Rajadell Carreras [6]. La herramienta de autodiagnóstico expuesta por este autor descompone el sistema productivo de una empresa en nueve áreas. En este sentido, se estudió la estructura de ese trabajo académico y, a partir de las áreas y los estados asociados descritos en él, se esquematizó un cuestionario que permite implementar el diagnóstico y realizar de forma práctica la medición cualitativa de la oportunidad de mejora que tiene la empresa. El rediseño de la herramienta involucró adaptar los enunciados y los aspectos evaluados hacia la realidad de una mipyme.

La herramienta se validó usando el método Delphi o de valoración por expertos y fue utilizada por estudiantes en prácticas empresariales y trabajo de campo para el diagnóstico inicial de más de treinta mipymes en Barranquilla. De esta manera, se logró definir el instrumento que se presenta en este documento.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Diagnóstico del sistema productivo

El fundamento teórico de esta investigación lo constituye la herramienta de autodiagnóstico del sistema productivo de una empresa de Rajadell Carreras [6], el cual abarca nueve áreas de estudio en la empresa que, según este autor, deben evaluarse (véase la figura 1). Asociadas a las nueve áreas, el autor establece un grupo de dieciocho preguntas; en cada una de ellas se plantean posibles situaciones en las que la empresa se encuentra en función del aspecto que evalúa la pregunta. Todas las preguntas de la herramienta plantean tres situaciones que se enuncian en premisas identificadas como a, b y c. De forma general, la primera premisa (a) corresponde al no cumplimiento o a un nivel bajo del aspecto evaluado, la segunda (b) enuncia un estado medio y la tercera un estado superior a los anteriores. La tabla 1 muestra cómo es la correspondencia de áreas y las preguntas en la herramienta.

La primera pregunta se formula en relación con el estilo de dirección, de modo que se identifica en la autoevaluación cuántas afirmaciones de un grupo de cinco pueden ser aceptadas al describir la situación

de la empresa. Los resultados probables son una para la situación tipo a, dos o tres para un tipo b y cuatro o cinco premisas cumplidas para un tipo c. Las afirmaciones que presenta la pregunta involucran aspectos tales como la implicación al máximo del personal en la gestión y la mejora de la empresa, la promoción de la formación con el propósito de disponer de “gente de calidad” en la empresa y la delegación a los niveles operativos de las decisiones del día a día. El aumento de los niveles de calidad y productividad en toda la organización, mediante la estructuración por productos y procesos, así como la promoción del trabajo en equipo y la eliminación de las operaciones que no añadan valor al producto o servicio, junto con la actuación con voluntad de avanzar en la mejora continua, con coherencia y ejemplo, de modo que se motive, refuerce y brinde apoyo donde convenga, se informe y comuniqué convenientemente, así como se elimine cualquier clase de discriminación en el trato y se persevere siempre, también se evalúan.



Figura 1. Áreas para el diagnóstico del sistema productivo

Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Estructura de áreas y preguntas herramienta original

Área	Preguntas
Estilo de dirección, estrategia y políticas en el área de producción	1
Tecnologías de diseño y producción	2
Gestión de la calidad	3
Organización de la producción y gestión de stocks	4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10
Gestión de compras	11 y 12
Productividad	13
Inversión, mantenimiento y gestión del equipo productivo	14 y 15
Organización, orden, limpieza estandarizada y disciplina	16 y 17
Gestión de los recursos humanos y producción	18

Fuente: elaboración propia.

Las tecnologías de diseño y producción del sistema productivo de la empresa se evalúan con la segunda pregunta. En esta pregunta se identifica si la empresa se destaca por unos esfuerzos débiles en I + D + I y diseño de nuevos productos, cuyos resultados son difícilmente cuantificables. De ser así, la empresa se ubica en una situación tipo a. Si la empresa se destaca por unos esfuerzos medios, sobre los productos existentes, la intención de crear nuevos productos o diversificar y estandarizar los existentes, entonces se halla una situación tipo b. Si, por el contrario, la empresa se destaca por unos esfuerzos importantes, sobre los productos existentes, la creación de nuevos productos o sobre el perfeccionamiento de los procesos de fabricación, se encuentra en una valoración tipo c.

Al evaluar la gestión de la calidad de la empresa se identifican tres situaciones: a) la empresa no cuenta con una gestión de la calidad estructurada y no dispone de la certificación ISO 9000; b) la gestión de la calidad en la empresa es una obligación o un deber de carácter suplementario; y c) la gestión de la calidad es vista en la empresa como una verdadera oportunidad y en esta se comprende y acepta la idea básica de la calidad de satisfacer a los clientes.

Las preguntas de la cuatro a la diez evalúan la organización de la producción y la gestión de *stocks* en la empresa. El primer grupo, de la cuatro a la ocho, se relaciona con la previsión, la planeación y el control de la producción. En estas se plantean premisas que permiten conocer si el sistema definido de previsión y planificación funciona a nivel intuitivo o si se realiza planificación a largo, mediano y corto plazo con un sistema de control de producción tipo de empuje. También se busca conocer si la empresa utiliza sistemas informáticos para la organización y gestión de la producción en la empresa. En relación con la gestión de *stocks* se plantean tres estados o situaciones:

- El sistema está únicamente basado en los artículos o insumos de mayor valor.
- Se dispone de *stocks* de seguridad de casi todos los insumos de la empresa.
- Los *stocks* se concentran en los insumos que generan cuellos de botella.

Al profundizar en los costos propios de la gestión de *stocks* también se plantea si es posible establecer con exactitud los costos, la gestión, la posesión o el mantenimiento del *stock* y los costos de la no calidad.

Para diagnosticar la gestión de compra y la relación con los proveedores se formulan las preguntas once y doce. Con la primera de ellas se evalúa la estrategia para la gestión de compras o aprovisionamientos que estableció la empresa. En la segunda, se considera cómo la empresa hace uso de normas de calidad para la adquisición y el aprovisionamiento. Los posibles estados en que se encuentra la empresa son 1) que no se usen normas, 2) que se trabaje con estándares no tan rigurosos, y 3) el control de la entrada del material ha sido substituido por el control del proceso del proveedor.

A fin de evaluar productividad, con la pregunta trece se considera, en primer lugar, la existencia de medidas cuantitativas relacionadas con la productividad o de la rentabilidad económica de la empresa. En caso

de que las haya, se evalúa cómo la empresa las utiliza para medirse y comparar su desempeño. Bien sea que la empresa permanece estable y no se consigue incrementar la productividad de una manera efectiva, incluso cuando se ha realizado algún tipo de inversión (estado II), o bien que, por el contrario, el grado de aprovechamiento de los recursos medidos demuestre una tendencia positiva, esto indica una mayor eficiencia productiva y que todos los activos de la empresa son utilizados y no se dispone de activos inmovilizados o circulantes ociosos (estado III).

La inversión, el mantenimiento y la gestión del equipo productivo se evalúa al establecer las grandes líneas de la política de inversión a lo largo de los tres últimos años en la empresa (preguntas catorce y quince). Una primera situación posible es que no hubiera en los últimos tres años. Otra sería que se siguiera una política de sustitución y refuerzo potencial, de manera que la renovación de las instalaciones satisface los objetivos de la producción, en cuanto a volumen de producción y reducción de costos. Una tercera alternativa es cuando es posible precisar y cuantificar los diferentes tipos de objetivos de las inversiones realizadas en términos de mejora de la calidad, reducción de plazos de entrega y cuellos de botella.

A esta área también corresponde el mantenimiento de las máquinas y la gestión del equipo productivo, lo que es esencial para la operación empresarial. Existen tres situaciones: la primera, en la que no existe una política de mantenimiento y, por lo general, el mantenimiento que se hace es correctivo; la segunda es aquella en la que el mantenimiento que se realiza es preventivo; y la última, la formación de operarios en mantenimiento, el registro de estadísticas de averías por máquinas o por categorías de causas y la subcontratación de grandes reparaciones.

La organización, el orden, la limpieza estandarizada y la disciplina de la empresa, así como las prácticas de higiene y seguridad propias de la organización se identifican con las preguntas dieciséis y diecisiete. El diagnóstico se enfoca en conocer en qué grado se da la organización y limpieza, esto es, si a nivel de toda la planta o solo en algunas áreas de trabajo; si existen y se cumplen rutinas que mantienen el orden y la limpieza en la organización.

La higiene y la seguridad son esenciales para un flujo de actividades eficiente y fluido. Sin embargo, puede suceder que no todos los operarios conozcan las consignas de higiene y seguridad propias de la empresa, porque los estándares de seguridad son poco seguidos. También se puede presentar que las medidas de higiene y seguridad estén poco desarrolladas; por ejemplo, no existe un plan de evacuación en caso de siniestro ni un control de los niveles de ruido, aunque sí paneles de señalización y un plan de localización de los elementos de seguridad (como, por ejemplo, los extintores). O que exista un control de utilización de materiales y equipos individuales de seguridad y protección contra accidentes de trabajo (ropa, guantes, cascos, gafas, calzados, etc.) y otras prácticas requeridas como un plan desarrollado de evacuación, entre otros.

La gestión del recurso humano en la producción se evalúa en referencia a las técnicas de motivación del personal y sus resultados. Si el personal evita la responsabilidad y, en general, tiene poca ambición, ha

de ser obligado, controlado e incentivado económicamente. Si existe la convicción de que el personal no tiene una aversión natural al trabajo, sino que son personas responsables y creativas, esto supone un estilo de dirección eminentemente participativo. O si, por el contrario, frente a los dos casos anteriores existe un cierto grado de polivalencia del personal, se requiere un programa de sugerencias o mejoras con participación del personal, así como programas que se fundamenten en grupos de trabajo y existan planes de formación continua para incrementar las destrezas del recurso humano.

4. RESULTADOS

El producto final de esta investigación es una herramienta tipo cuestionario (tabla 3) que abarca las nueve áreas que propuso Rajadell Carreras para el diagnóstico del sistema productivo de una empresa. El instrumento contiene cincuenta enunciados, los cuales evalúan los aspectos relacionados con dichas áreas y permiten identificar estados o situaciones diferentes en cada una de ellas. Para cada aspecto enunciado se mide su ocurrencia (sí/no) y si corresponde se le da una valoración cualitativa de la condición de ocurrencia en una escala de tres valores (deficiente/suficiente/sobresaliente).

La herramienta de diagnóstico inicial se presenta a continuación y se explica en detalle su estructura, así como su operacionalización.

4.1 Herramienta de diagnóstico inicial

4.1.1 Estructura de la herramienta

La herramienta se estructura en un bloque continuo de cincuenta enunciados dispuestos en el mismo orden que en el trabajo inicial de Rajadell Carreras. Los enunciados agrupados —tal como se identifica en la tabla 2— se organizaron para evaluar cada una de las nueve áreas en las que se descompone el sistema productivo.

Tabla 2. Estructura de áreas y preguntas herramienta rediseñada

Área	Preguntas n.º	Cantidad de preguntas y %
Estilo de dirección, estrategia y políticas en el área de producción	1-5	5 (10 %)
Tecnologías de diseño y producción	6-12	7 (14 %)
Gestión de la calidad	13-18	6 (12 %)
Organización de la producción y gestión de stocks	19-27	9 (18 %)
Gestión de compras	28-32	5 (10 %)
Productividad	33-35	3 (6 %)
Inversión, mantenimiento y gestión del equipo productivo	36-42	7 (14 %)
Organización, orden, limpieza estandarizada y disciplina	43-48	6 (12 %)
Gestión de los recursos humanos y producción	49-50	2 (4 %)

Fuente: elaboración propia.

4.1.1 Operacionalización de la herramienta

Como se ha descrito, a cada una de las áreas le corresponde un grupo de preguntas o enunciados a partir de los cuales quien realice el diagnóstico debe evaluar el cumplimiento o no de la situación, con base en lo que observa y las evidencias que obtenga de la mipyme. Esta evaluación determina si se da o no una valoración de la condición, puesto que de no ocurrir la situación no corresponde evaluar su condición. Solo cuando la situación ocurre se deberá evaluar la condición en la que esta se presenta.

La condición en la que ocurre la situación se evalúa cualitativamente como deficiente, suficiente o excelente. La condición deficiente implica que el aspecto se cumple de forma muy básica, con errores, fallas o carencias en su implementación y que, por ende, es insuficiente en cuanto a la expectativa de cumplimiento que debería tener. Por otra parte, un cumplimiento suficiente corresponde a la expectativa mínima esperada en el aspecto o la actividad evaluada. La condición de excelente es aquella en la que se cumple de forma superior o extraordinaria, de modo que es incluso ejemplar la práctica que la empresa hace y tiene respecto a dicho aspecto. Las condiciones se representan en el instrumento con los valores 1, 3 o 5. El proceso de diagnóstico se complementa con el registro de observaciones que permitan contextualizar la evaluación y sean un punto de partida para realizar mejoras y la toma de decisiones posteriores.

Tabla 3. Herramienta de diagnóstico inicia

Criterios de calificación		1. Deficiente 3. Suficiente 5. Sobresaliente					Observaciones
	Actividad o aspecto	Situación		Condición			
		Ocurre	No ocurre	1	3	5	
1.	Se evidencia la implicación del personal en la gestión y mejora de la empresa						
2.	Se promueve la formación del personal para mejorar su "calidad" como recurso						
3.	Se delegan a los niveles operativos de las decisiones diarias						
4.	La empresa aumenta sus niveles de calidad y productividad mediante alguna de las siguientes acciones: • estructuración por productos y procesos; • promoción del trabajo en equipo; • la eliminación de las operaciones que no añadan valor al producto o servicio.						
5.	En la empresa se motiva, refuerza y apoya al personal con miras a avanzar en la mejora continua sin cualquier clase de discriminación en el trato.						
6.	La empresa realiza actividades de investigación, desarrollo e innovación I+D+I y diseño de nuevos productos.						
7.	En la empresa se compran licencias de productos existentes o se imitan los productos que existen en el mercado.						
8.	En la empresa se utiliza de forma estructurada alguna o varias de las siguientes metodologías para el diseño de productos: diseño concurrente, diseño modular, tecnología de grupos, análisis de valor, expectativas del cliente.						

Criterios de calificación		1. Deficiente 3. Suficiente 5. Sobresaliente					Observaciones
		Situación		Condición			
		Ocurre	No ocurre	1	3	5	
9.	Se identifica dentro de la estructura de la empresa la función I+D+I o el área encargada de actividades de este tipo.						
10.	Los esfuerzos en I+D+I se pueden cuantificar por los costos que han implicado.						
11.	Los esfuerzos en I+D+I se pueden cuantificar por el número de nuevos productos.						
12.	Los esfuerzos en I+D+I realizados por la empresa se comparan con los de la competencia						
13.	La empresa tiene implementado un sistema de gestión de calidad basado en la NTC ISO 9001:2015.						
14.	La alta dirección se encuentra comprometida con la gestión de calidad.						
15.	Se realiza inversión en el área de calidad.						
16.	Se capacita al personal de la empresa en la importancia de la gestión de calidad.						
17.	Los procesos de la empresa cuentan con controles de calidad establecidos en la cadena productiva, de soporte o de gestión.						
18.	Se conoce el costo de la no calidad (pérdidas, desechos, devoluciones y reclamaciones, entre otros).						
19.	Las actividades de preparación de las máquinas, las tareas productivas y el cambio de utillajes y herramientas están separadas de manera que cada una tiene su tiempo estandarizado, el cual es conocido y cumplido.						
20.	Existe un orden establecido para el almacenamiento de los elementos internos y externos usados en la ejecución de las actividades productivas.						
21.	El proceso productivo puede calificarse de flexible, es decir, existe facilidad para la modificación de la metodología de producción, las maquinarias y el personal cuando sea requerido.						
22.	Las actividades productivas están sincronizadas, es decir, los recursos empleados se distribuyen de la forma más uniforme posible a lo largo del tiempo.						
23.	Los retrasos en el proceso productivo se deben a otras causas que no incluyen la carencia de existencia de insumos, piezas o materias primas.						
24.	El sistema de stock implementado permite determinar el exceso de existencias por número de piezas o de días de los insumos de mayor valor.						
25.	El sistema de stock implementado permite disponer de inventario de seguridad de casi todos los artículos de la empresa.						
26.	El sistema de stock implementado permite identificar los cuellos de botella y se concentra en ellos.						
27.	Se tienen claros los costos que genera la gestión del stock y el sistema busca cómo reducir los costos a través de estrategias almacenamiento, embalaje y/o entregas.						
28.	La empresa gestiona sus compras de manera informal y de manera intuitiva, es decir, sin un plan o proceso preestablecido.						
29.	Se aplican en la empresa métodos de análisis para establecer la mejor opción de compra solo con base en el precio y, de esta manera, se seleccionan los proveedores para cada compra.						

Criterios de calificación		1. Deficiente 3. Suficiente 5. Sobresaliente					Observaciones
	Actividad o aspecto	Situación		Condición			
		Ocurre	No ocurre	1	3	5	
30.	La empresa cuenta con una estrategia para la gestión de compras basada en relaciones a largo plazo con proveedores que ofrezcan calidad, servicio y buenos precios.						
31.	El control sobre las compras hechas a proveedores responde a estándares o normas e incluye recuento e inspección.						
32.	El control a la entrada del material ha sido substituido por el control del proceso del proveedor.						
33.	La empresa cuenta con indicadores que expresan en medida cuantitativa la productividad y/o la rentabilidad económica de la empresa.						
34.	La gestión administrativa de la empresa lleva al aprovechamiento de los recursos en tendencia positiva, lo cual indica una mayor eficiencia productiva.						
35.	Todos los activos de la empresa son utilizados y no se dispone de recursos (activos inmovilizados o circulantes) ociosos.						
36.	En la empresa se ha realizado inversión a lo largo de los tres últimos años en el área de producción.						
37.	Las inversiones realizadas reflejan una política de sustitución y refuerzo potencia en pro de la renovación de las instalaciones, el volumen de producción y la reducción de costes.						
38.	Las inversiones realizadas responden a la mejora de la calidad, la reducción de plazos de entrega y los cuellos de botella.						
39.	Existe una política de mantenimiento de las instalaciones y las inversiones.						
40.	El mantenimiento que se realiza es preventivo por máquina y las tareas de mantenimiento se realizan por personal especializado (interno o subcontratado).						
41.	Existen estadísticas de averías por máquinas o por categorías de causas, para lo cual se anota en una ficha las intervenciones (naturaleza y fecha).						
42.	Se cuenta con un plan de formación de los operarios para que puedan realizar operaciones de mantenimiento básico.						
43.	De forma general, se puede decir que la planta de producción opera con organización el orden y la limpieza.						
44.	Existen consignas de higiene y seguridad propias de la empresa.						
45.	Los estándares de seguridad se siguen, dado que todos los operarios los conocen.						
46.	Las medidas de higiene y seguridad están poco desarrolladas.						
47.	Existe un control de utilización de materiales y equipos individuales de seguridad y protección contra accidentes de trabajo (ropa, guantes, cascos, gafas, calzados, etc.).						
48.	Existe un plan desarrollado de evacuación.						
49.	La empresa ha implementado estrategias formales de motivación para el personal.						
50.	Existen planes de formación continua para todos los empleados, personalizados y orientados a las carreras profesionales, a los grupos de gestión y a los requerimientos cambiantes del entorno.						

Fuente: elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

Desde sus inicios, en el establecimiento de sus actividades productivas, todas las empresas, independientemente de su tamaño, determinan aspectos o elementos fundamentales y de gran impacto en su desempeño. Estos aspectos, como, por ejemplo, la ubicación, la capacidad y la distribución de la planta, repercutirán de manera significativa en el éxito o fracaso de la organización. Una vez establecida la producción y puesta en operación, los procesos de planeación, aprovisionamiento, organización, limpieza y mantenimiento responden a lineamientos administrativos adoptados por la misma empresa que repercuten en la forma en que esta aprovecha su proceso productivo. También se involucran en este sentido los recursos humanos y materiales, así como aspectos relacionados.

Toda empresa en operación es susceptible de mejora continua y muchas de ellas se reconocen abiertas a dichos procesos. Según la norma ISO 9000, la mejora continua es la actividad recurrente con miras a mejorar el desempeño. El diagnóstico es esencial para el desarrollo de procesos de mejora continua en las empresas. Es el paso inicial que le permitirá a la empresa conocer su potencial de mejora y determinar las actividades recurrentes que deberá implementar. Son varios los autores que apuntan cómo antes de diseñar un plan es necesario realizar un diagnóstico previo.

Es por esto por lo que en esta investigación se planteó el rediseño de una herramienta teórica para la implementación práctica del diagnóstico que realicen las mipymes en sus procesos productivos. Lo anterior si se tiene en cuenta que este tipo de empresas, por su tamaño, sus recursos y su dinámica administrativa, enfrenta retos diferentes en materia de establecer sus objetivos y de encontrar las oportunidades para la mejora de su desempeño. Este diagnóstico y la ejecución de las acciones pertinentes contribuyen a aumentar la probabilidad de éxito de estas organizaciones. Según el tamaño de la empresa y los objetivos perseguidos, la complejidad del diagnóstico se acentúa y las directrices a llevar a cabo requieren e implican mayor especificidad y sofisticación.

En la presente investigación se evidencia la formulación realizada para la estructuración de un instrumento de diagnóstico útil que permita evaluar las micros, pequeñas y medianas empresas antes de la mejora de una o varias de las áreas involucradas en su sistema productivo. Al diagnosticar adecuadamente se identifican las necesidades esenciales en la empresa y se facilita la intervención con el fin de plantear y ejecutar mejoras en las áreas de trabajo evaluadas. También proporciona una medición inicial que genera metas de cumplimiento para las mediciones posteriores.

La herramienta rediseñada plantea una serie de enunciados que constituyen la base de la medición para el diagnóstico. El instrumento se enfoca en el análisis cualitativo de la situación del sistema productivo de la empresa manufacturera en estudio con miras a iniciar un proceso de mejora continua. El cuestionario aporta una estructura que permite realizar un diagnóstico, principalmente, objetivo, mediante la cuantificación de un grupo de aspectos, su ocurrencia y la condición en la que suceden en la empresa. No

obstante, se fundamenta en la percepción de quien o quienes realizan el diagnóstico, no sin involucrar la objetividad de estos al buscar evidencias para la evaluación de los aspectos, la ocurrencia y la condición.

REFERENCIAS

- [1] Bancoldex, Clasificación de empresas en Colombia. Bancoldex.com. <https://www.bancoldex.com/clasificacion-de-empresas-en-colombia-200>
- [2] *Revista Dinero*, Ranking de las mejores mypes en Colombia en 2017. Dinero.com. <https://www.dinero.com/edicion-impresas/caratula/articulo/ranking-de-las-mejores-pymes-de-colombia-en-2017/249828>
- [3] *Revista Dinero*, Los retos que enfrentan las mipymes en Colombia. Dinero.com. <https://www.dinero.com/edicion-impresas/pymes/articulo/los-retos-que-enfrentan-las-mipymes-en-colombia/241586>
- [4] *Revista Dinero*, Evolución y situación actual de las mipymes en Colombia. Dinero.com. <https://www.dinero.com/edicion-impresas/pymes/articulo/evolucion-y-situacion-actual-de-las-mipymes-en-colombia/222395>
- [5] S. Clavijo, Indicador Pyme Anif (IPA): resultados del segundo semestre de 2017, Larepública.co. <https://www.larepublica.co/analisis/sergio-clavijo-500041/indicador-pyme-anif-ipa-resultados-del-segundo-semestre-de-2017-2589277>
- [6] M. Rajadell Carreras, *La primera fase para la implementación del proceso de mejora continua: el autodiagnóstico del sistema productivo de la empresa*. Cataluña: Departament d'Organització d'Empreses, 2005.

Valoración de acetinas como reemplazo parcial de aceite nafténico en compuestos de caucho SBR1502¹

Assessment of acetines as a partial replacement of naftenic oil in SBR1502 composites

Arnoldo Emilio Delgado Tobón²
Esperanza Rodríguez Carmona³

DOI: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.28.6082>

RESUMEN

En esta investigación se esterificó glicerina grado técnico proveniente de la industria del biodiesel para obtener mono, di y triacetil gliceroles. Se empleó ácido acético glacial y resina de intercambio iónico Amberlyst®15 como catalizador heterogéneo para llevar a cabo la reacción. Se probaron acetil gliceroles con el fin de reemplazar parcialmente hasta diez partes en peso de aceite nafténico en formulaciones de caucho SBR1502 reforzado con sílica precipitada. Se usó peróxido de dicumilo para curar los compuestos, así como se realizaron ensayos de reometría a los compuestos antes de ser curados. La resistencia a la tracción, elongación a rotura y resistencia al desgarre fueron evaluados para los compuestos curados. Se determinó que la adición de 10 phr de acetil gliceroles afectó levemente el torque mínimo y la resistencia a la tracción.

Palabras clave: Acetinas; Compuestos; Entrecruzamiento; Esterificación; Glicerina, SBR.

ABSTRACT

In this investigation, technical grade glycerin as a byproduct of the biodiesel industry was esterified to obtain mono, di, tri acetyl glycerols. Glacial acetic acid and ion exchange resin Amberlyst®15 was used as a heterogeneous catalyst to perform the reaction. Acetyl glycerols were tested to partially replace up to 10 parts by weight naphthenic oil in SBR 1502 composites reinforced with precipitated silica. Dicumyl peroxide was used as a crosslinker agent. The rheometer testing was done at rubber blends before prior to curing. Tensile strength, elongation at break and tear strength were evaluated for cured composites. It was determined that the addition of 10 phr of acetyl glycerols slightly affected the minimum torque and tensile strength.

Keywords: Acetines; Composites; Crosslinking; Esterification; Glycerol; SBR.



Como citar este artículo: A. Delgado Tobón y E. Rodríguez Carmona, Valoración de acetinas como reemplazo parcial de aceite nafténico en compuestos de caucho SBR1502, *ingeniare*, vol. 2, n.º 28, jun. 2020.

1. Proyecto de Investigación INV-ING-2993, vigencia 2019-2020, financiado por La Vicerrectoría de Investigaciones de La Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, Grupo de Investigación Energía Alternativa. Investigador líder: Arnoldo Emilio Delgado Tobón.
2. Ing. Mecánico, Magíster en Ing. Mecánica, profesor asociado del Programa Ingeniería Mecatrónica de La Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, ORCID: 0000-0002-8743-8958. Correo: arnoldo.delgado@unimilitar.edu.co
3. Ing. Mecánica, Magíster en Docencia Universitaria, profesora asociada del Programa de Ingeniería Industrial de La Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, ORCID: 0000-0003-2915-6829. Correo: esperanza.rodriguez@unimilitar.edu.co

Fecha de recepción: 26 de noviembre de 2019 • Fecha de aceptación: 09 de febrero de 2020

INGENIARE, Universidad Libre-Barranquilla, Año 16, No. 28, pp. 23-33 • ISSN: 1909-2458

1. INTRODUCCIÓN

El incremento en la producción de biodiesel a escala mundial ha traído como consecuencia un aumento considerable de las existencias de glicerina, la cual se genera como subproducto de la síntesis de este biocombustible [1] [2]. Sin embargo, este tipo de glicerina no puede reemplazar la del grado farmacéutico USP (99,5 %) debido a los altos costos que implica la purificación [3] [4]. La glicerina que se extrae de la corriente del biodiesel es tóxica por la presencia de metanol, jabones y sales orgánicas e inorgánicas [5]. A nivel industrial la purificación se realiza para llevar la glicerina hasta grado técnico (GT) con pureza mínima del 97,5 % [6] [7] [8].

La GT se valoriza por medio de la modificación química para producir biopolímeros, resinas alquílicas, fertilizantes y precursores químicos de alta importancia como 1,3-propanodiol, ácido succínico [1] [9], glicerol carbonatado [10] y acetil gliceroles [11] [12].

En esta investigación se pretende generar una alternativa de aprovechamiento de GT por medio de la síntesis de mono, di y tri acetil gliceroles; esta mezcla de productos se ensayará como potencial plastificante para reemplazar parcialmente el aceite nafténico en formulaciones de compuestos elaborados con caucho sintético SBR y sílice precipitada. Los aceites nafténicos son derivados del petróleo, altamente contaminantes y no sustentables con el medio ambiente.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La purificación de la glicerina cruda, por lo general, se realiza mediante su tratamiento con ácidos inorgánicos (sulfúrico o fosfórico), seguido de un lavado con agua, destilación a vacío y filtrado con carbón activado [8]. También se estudian métodos de purificación combinados, los cuales incluyen destilación a alto vacío, separación de trazas de impurezas con resinas de intercambio iónico y membranas con el fin de obtener glicerina con pureza > 98,9 %; sin embargo, estos procesos aún no son factibles desde el punto de vista económico [5].

La modificación química de GT para producir mono, di y tri acetil gliceroles se verifica por medio de la esterificación con ácido acético, utilizando resina de intercambio iónico como catalizador heterogéneo [13] [14] [15]. En el pasado se usaba ácido sulfúrico concentrado para catalizar la reacción, sin embargo, por consideraciones de seguridad industrial este ácido ha quedado prácticamente abolido [16]. La esterificación con ácido acético también se conoce con el nombre de "acetilación". Resinas de intercambio iónico comerciales tipo Amberlyst®15 y 35 son catalizadores eficientes en la producción de acetil gliceroles.

En general, la acetilación de glicerina produce una mezcla de mono, di y tri acetil gliceroles en distinta proporción de cada uno de ellos. Esta relación de productos depende del mecanismo de reacción, el cual se afecta, principalmente, por la relación molar de reactivos y el tipo de catalizador. El tiempo y

la temperatura son parámetros que influyen, sobre todo, el grado de conversión de la glicerina. Una relación molar ácido acético/glicerina equivalente a 4/1 o menor producirá mono y di acetil gliceroles en mayor cantidad, mientras que la relación molar 9/1 permitirá obtener, principalmente, tri-acetil glicerol.

Los mono, di y tri-acetil gliceroles tienen varias denominaciones en la literatura. A nivel comercial se conocen con el nombre de “acetinas”. Estos esteres tienen alto punto de ebullición (258-280 °C) y densidad (1,16-1,21 g/cm³) [17].

El alto punto de ebullición de las acetinas y su carácter oleoso permiten considerarlas a fin de evaluarlas como plastificantes para elastómeros. En general, los compuestos de caucho requieren de plastificantes (aceites nafténicos y aromáticos) para mejorar la dispersión de cargas, aumentar la fluidez del compuesto (en crudo, antes de ser vulcanizado) y disminuir costos [18] [19]. La adición de plastificantes puede ocasionar pérdida de propiedades mecánicas al compuesto de caucho, en especial las relacionadas con la resistencia a la tracción y al desgarre. El caucho estireno butadieno SBR 1502 es el caucho sintético de mayor uso a nivel general, pues se emplea, por ejemplo, en las industrias llanteras, de calzado, de pisos y de bandas transportadoras [19] [20].

3. METODOLOGÍA

3.1 Materiales

Se compraron reactivos para síntesis de acetinas GT (97,6 %), tolueno (99,6 %) y ácido acético glacial (99 %) en la tienda El Alquimista® (Colombia), y resina de intercambio iónico Amberlyst15® fue adquirida a Sigma Aldrich® (USA). Asimismo, ingredientes para la elaboración de compuestos SBR: Buna SE 1502H (Arlanxeo®-Brasil), Rubbersil® RS200 (Glassven®-China), *ácido esteárico doble prensado* (Dersa®-Colombia), antioxidante Vulkanox® DSF (Lanxess®-Brasil), Perkadox® BC-FF (Akzo Nobel®-USA) y Delta Oil® 325 (Delta Oil-Colombia) fueron comprados al proveedor Gomafina® Ltda. (Colombia).

3.2 Síntesis de acetinas

La acetilación se llevó a cabo en un reactor de vidrio de 500 cm³ con tres bocas, equipado con manta de calentamiento y agitación magnética, baño térmico de aceite, termómetro, torre de fraccionamiento tipo vigreux, accesorio *dean stark* para retirar el agua producida en la reacción y condensador (véase la figura 1a). Inicialmente, se colocó en el balón: 23,0 g de GT + 135,1 g de ácido acético + 138 g de tolueno; cuando el sistema alcanzó la temperatura de 95 °C se adicionaron 2,55 gramos de Amberlyst®15, lo que dio inicio a la reacción. La máxima temperatura alcanzada fue 110 °C. La reacción se llevó a cabo a una presión 560 mm Hg y el tiempo de acetilación fue 4,5 horas. Se usó tolueno como agente de arrastre para eliminar el agua generada en la reacción y remover el exceso de *ácido acético* al final. Las acetinas fueron lavadas con agua y luego sometidas a roto-evaporación durante dos horas con el fin de eliminar la humedad y las trazas de ácido acético (véase la figura 1b).

3.3. Diseño de compuestos (fórmulas)

Se realizaron tres formulaciones según se observa en la Tabla 1. La sigla phr significa “partes en peso de cualquier ingrediente por cada 100 partes de SBR”. Todos los compuestos fueron formulados con 20 phr de plastificante + 50 phr de sílica + aditivo + agente de curado. El compuesto control tiene 20 phr de aceite nafténico (BR/20N/0A). El segundo compuesto fue formulado reemplazando el 33,3 % del aceite nafténico por acetinas, equivalente a adicionar 15 phr de nafténico y 5 phr de acetinas (SBR/15N/5A). En la tercera fórmula se reemplazó un 50 % del aceite nafténico por acetinas, lo cual implica que se adicionaron 10 phr de ambos aceites (SBR/10N/10A).

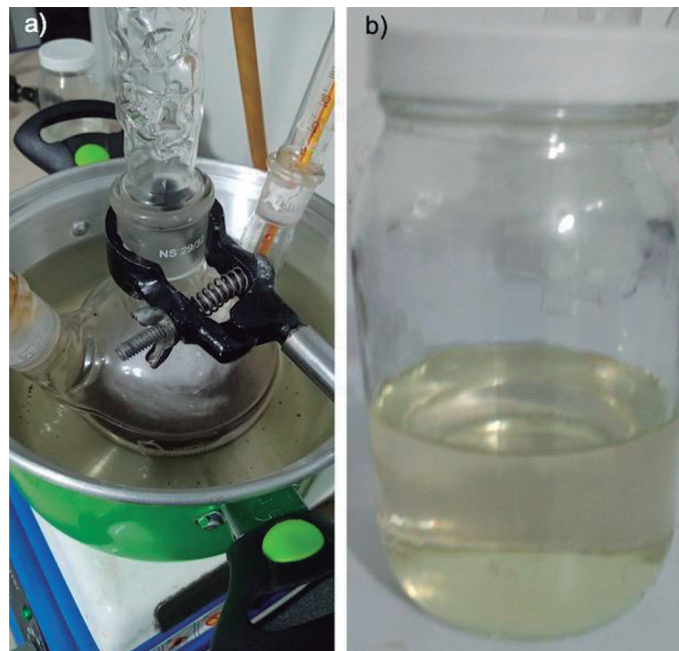


Figura 1. a) acetilación; b) acetinas

Fuente: elaboración propia.

Las formulaciones corresponden a un diseño experimental de un factor con tres niveles, en los que el factor es la presencia de acetinas en el compuesto y los niveles corresponden a las concentraciones de acetinas en phr. Las variables de respuesta fueron: a) parámetros de reometría: torque mínimo (M_L), torque máximo (M_H), tiempo de *scorch* (t_{S2}) y tiempo de curado (t_{90}); b) propiedades mecánicas: resistencia a la tracción, elongación a rotura y resistencia al desgarre.

Tabla 1. Formulaciones de compuestos SBR/acetinas

Ingredientes (phr)	Control	SBR/15N/5A	SBR/10N/10A
SBR 1502	100	100	100
Silica precipitada	50	50	50
Aceite nafténico	20	15	10
Acetinas	0	5	10
Acido esteático	1	1	1
Antioxidante DSF	1	1	1
Peróxido de dicumilo	0.9	0.0	0.9

Fuente: elaboración propia.

3.4 Elaboración de compuestos

Cada uno de los compuestos fueron elaborados en un molino de laboratorio con capacidad de mezcla igual a 1000 cm³, equipado con dos rodillos de 14 cm de diámetro y 32 cm de longitud; la relación de fricción entre ambos rodillos fue 1.42. Inicialmente, se masticó SBR1502 en los rodillos hasta formar banda (véase la figura 2a), enseguida se agregaron lentamente la sílica y los plastificantes, posteriormente se añadió el *ácido esteárico* y antioxidante; la mezcla, entonces, se homogenizó y, faltando dos minutos para finalizar el mezclado, se adicionó el peróxido de dicumilo; el tiempo total de proceso fue de diez minutos.

**Figura 2. a) molino de rodillos; b) reómetro; c) máquina universal de tensión**

Fuente: elaboración propia.

El curado de los compuestos se realizó empleando la técnica de moldeo por compresión en una prensa vulcanizadora a escala de laboratorio. Las láminas para determinar la resistencia al rasgado, la tracción, la elongación y la resistencia al desgarre fueron curadas en un molde de área 15 x 15 cm, con espesor de 3 mm a 160 °C; el tiempo de curado fue de ocho minutos.

3.5 Ensayo de reometría

Los parámetros de reometría para los compuestos previo al proceso de curado en el molde fueron determinados siguiendo la norma ASTM D2084-17. Se usó un reómetro de disco oscilante Monsanto® MDR 2000TM (USA), las curvas de reometría se corrieron a 160 °C y el tiempo de prueba fue de diez minutos (véase la figura 2b).

3.6 Determinación de propiedades de tensión y rasgado

Los ensayos de tracción/elongación y resistencia al desgarre fueron medidos para los compuestos curados aplicando las normas ASTM D412-06A y ASTM D624-00, respectivamente. Las probetas con geometría tipo I para la prueba de tensión y tipo B para el ensayo de desgarre se obtuvieron troquelando las láminas curadas. Se utilizó una máquina universal de tensión KJ 1065B Kejian Instruments®-China (véase la figura 2c). Los parámetros de los ensayos fueron desplazamiento del cabezal 80 mm/minuto, temperatura de 23 °C y humedad relativa del 50%. Tres probetas fueron ensayadas para cada compuesto.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Estado de curado de compuestos

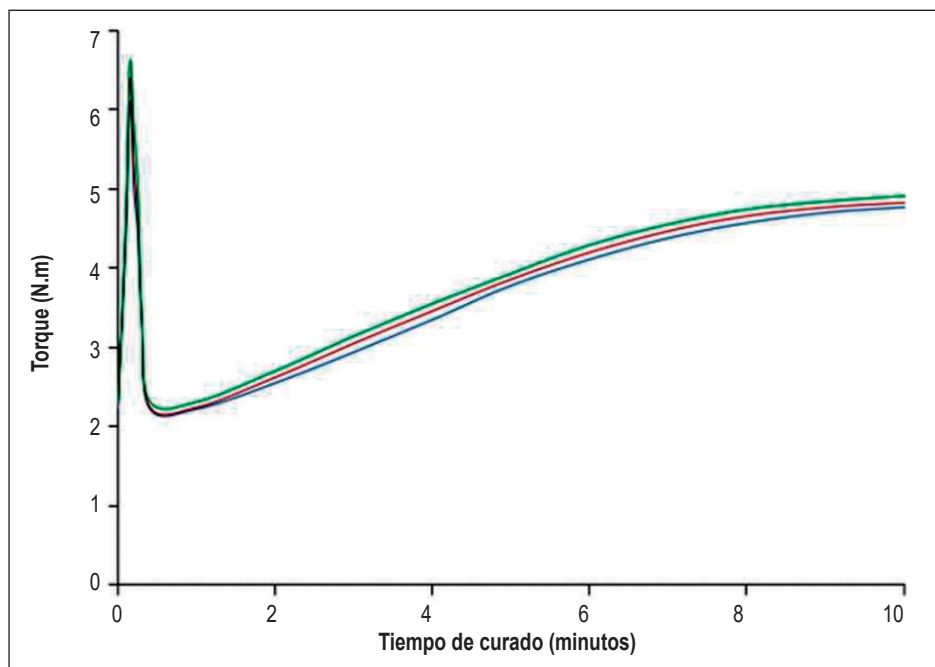


Figura 3. Reometrías de los compuestos tomadas a 160 °C:

___ Control ___ SBR/15N/5A ___ SBR/10N/10A

Fuente: elaboración propia.

El caucho SBR1502 tiene la habilidad de ser reticulado con azufre (vulcanización) y/o con peróxidos (curado). Las curvas de reometría y los parámetros de curado se muestran en la figura 3 y la tabla 2. Estos valores cambian según la temperatura, por tanto, se deben reportar junto con la temperatura del ensayo de reometría. Las curvas obtenidas experimentalmente presentan una pendiente ligeramente creciente, sin cambios fuertes, lo cual significa que el reticulado del compuesto es progresivo; la forma geométrica de las curvas son características de compuestos de caucho curados con peróxido [21].

Ahora bien, t_{s2} indica el tiempo que tiene el material para soportar la temperatura antes de que empiece a reticular [21] [22]; t_{s2} , por tanto, permite establecer el periodo en el que un compuesto de caucho puede fluir y llenar las cavidades dentro del molde (a una determinada temperatura) sin que se comience una reticulación prematura, lo cual limita la fluidez.

Tabla 2. Parámetros de reometría de los compuestos SBR/acetinas tomados a 160 °C

Compuesto	Torque mínimo M_L (Nm)	Torque máximo M_H (Nm)	Tiempo de scorch t_{s2} (min)	Tiempo de cura t_{90} (min)
SBR/0 acetinas	2,22	4,77	0,92	9,36
SBR/5 acetinas	2,24	4,83	0,88	9,21
SBR/10 acetinas	2,31	4,92	0,9	9,43

Fuente: elaboración propia.

No se observó variaciones significativas en tiempo de *scorch* al adicionar acetinas (hasta 10 phr) en reemplazo parcial de aceite nafténico con respecto al valor de t_{s2} arrojado por el compuesto patrón.

El tiempo de curado t_{90} indica que el periodo necesario para completar un 90 % de curado, en términos prácticos, sirve para establecer el tiempo de moldeo de un compuesto; el 10 % adicional de reticulación para completar el curado se logra con el calor residual que posee el compuesto al salir del molde [21] [22]. En este estudio no se observó un cambio significativo del t_{90} de los compuestos. La adición de acetinas no afectó este parámetro comparativamente frente al Control.

El torque mínimo (M_L) está relacionado con la viscosidad del compuesto sin reticular, por tanto, es un parámetro que permite establecer de manera indirecta la fluidez de la mezcla. A mayor M_L menor será la capacidad que tiene el compuesto de llenar un molde; el valor de M_L es un criterio para controlar la calidad de procesos de mezcla y de formulación [21]. Se observó un leve aumento del M_L en un 4 % para el compuesto formulado con 10 phr de acetinas SBR/10N/10A con respecto al Control. El incremento del torque mínimo indica un aumento en la viscosidad de los compuestos sin curar, lo cual significa que las acetinas no tuvieron un desempeño como plastificante con respecto al aceite nafténico, probablemente debido a que no existe una compatibilidad entre el SBR y las acetinas.

El torque máximo (M_H) es proporcional al nivel de entrecruzamiento de las cadenas poliméricas del caucho [21]. La adición de acetinas no influyó significativamente en el valor de M_H con respecto al Control (véase la tabla 2).

4.2. Resistencia a la tracción de compuestos curados

La Figura 4 muestra las propiedades de resistencia a la tracción y elongación a rotura de los compuestos curados. La resistencia a la tracción mide la máxima capacidad que tiene un material de soportar esfuerzos. En general, se encontraron valores relativamente altos para la resistencia a la tracción (tensión máxima) en cada uno de los compuestos, debido a la presencia de sílica precipitada RS200 (50 phr). Esta es la carga inorgánica blanca de alto poder reforzante para cauchos, dado que posee un tamaño de partícula pequeño, equivalente a un área superficial BET(170-200 m^2/g) [21]. El más alto valor encontrado de resistencia a la tracción fue para el compuesto Control (7,07 MPa).

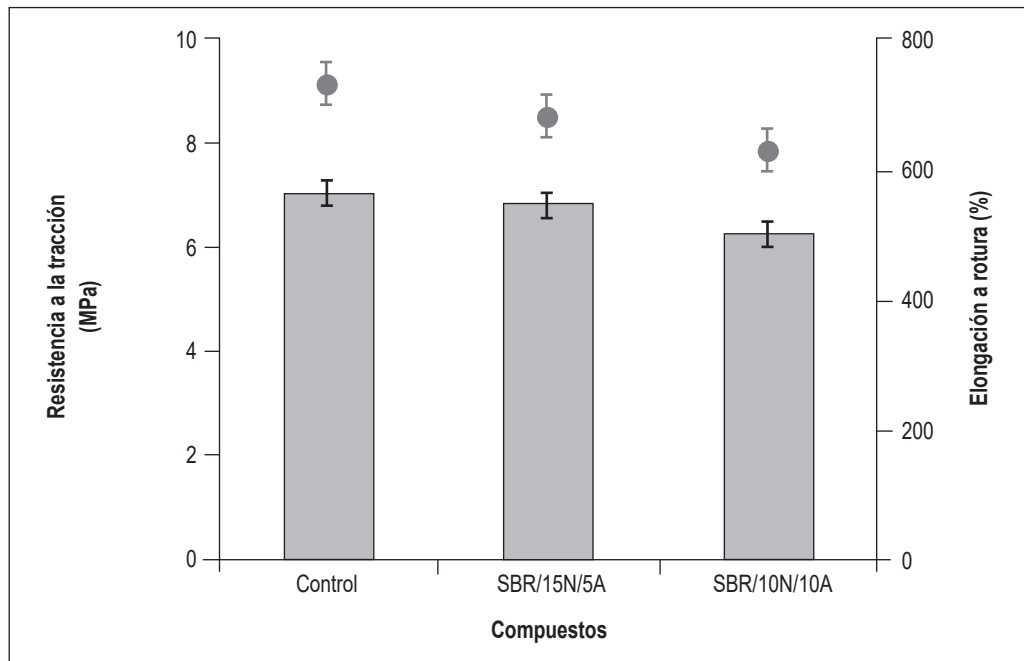


Figura 4. Propiedades de tracción y elongación a rotura

Fuente: elaboración propia.

La adición de acetinas hasta 5 phr no afectó significativamente el valor de la resistencia a la tracción. Al aumentar la cantidad de acetinas hasta 10 phr se observó una disminución significativa del 11 % del valor de la propiedad con respecto al compuesto Control. Posiblemente, el descenso del valor de tracción del compuesto SBR/10N/10A se debió a la incompatibilidad entre el SBR y las acetinas, lo cual es más evidente si se incrementa la cantidad de acetinas en la formulación.

4.3. Elongación a rotura de compuestos curados

La elongación mide la habilidad que tienen los compuestos de caucho para estirarse varias veces con respecto a su longitud original; es una propiedad importante de los elastómeros. La elongación a rotura es el máximo estiramiento que soporta el compuesto antes de romperse [21] [22]. Se obtuvo el valor mas alto de elongación para el compuesto Control. Se observó en la figura 2 que la adición de acetinas, a fin de reemplazar 5 phr de aceite nafténico, no afectó significativamente el valor de la propiedad. Sin embargo, al reemplazar 10 phr de aceite nafténico por acetinas se produjo una disminución de la propiedad en un 13 % contra el compuesto Control. La causa puede estar asociada a la no existencia de compatibilidad entre SBR y las acetinas.

4.4. Resistencia al desgarre de compuestos curados

El desgarre mide la capacidad de un caucho de resistir la propagación de una incisión (los resultados de esta propiedad se muestran en la Figura 5). En general, los compuestos de caucho formulados con sílica precipitada con área superficial mayor a 170 m²/g ofrecen buen desempeño frente a la resistencia al desgarre. No se observó efecto significativo alguno al reemplazar hasta 10 phr de aceite nafténico por acetinas.

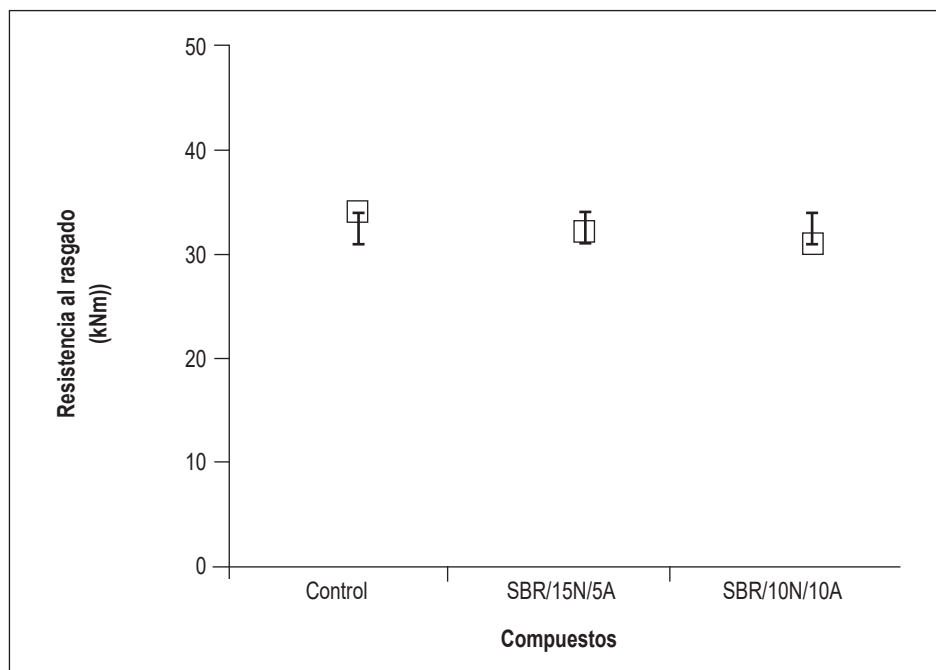


Figura 5. Resistencia al desgarre de los compuestos curados

Fuente: elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

Se pueden usar acetil gliceroles obtenidos a partir de glicerina grado técnico en pequeñas cantidades (<10 phr) para elaborar compuestos de caucho SBR con sílica precipitada, con el objetivo de reemplazar parcialmente el aceite nafténico. Con esta cantidad de acetinas en los compuestos no se alteró significativamente los valores de las propiedades de elongación a rotura y resistencia al desgarre. Sin embargo, al formular las acetinas a nivel de 10 phr de acetinas disminuyó de forma significativa la resistencia a la tracción y se aumentó la viscosidad del compuesto, de modo que fue un claro indicio de que las acetinas no se comportaron como plastificante en compuestos de caucho sintético SBR.

REFERENCIAS

- [1] E. Kaya y N. Oktar, "Production of value-added chemicals from esterification of waste glycerol over MCM-41 supported catalysts", *Gr. Proc. Synth*, vol. 8, n.º 1, pp. 128-134, 2019, doi: <https://doi.org/10.1515/gps-2018-0034>
- [2] H.W. Tan, A.R. Aziz y M. Aroua, "Glycerol production and its applications as a raw material : a review", *Ren. Sus. En. Rev.*, vol. 27, pp. 118-127, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.035>
- [3] A. Rodrigues, J. C. Bordado y R. G. Dos Santos, "Upgrading the glycerol from biodiesel production as a source of energy carriers and chemicals-a technological review for three chemical pathways", *Energies*, vol. 10, n.º 11, pp. 1-36, doi: <https://doi.org/10.3390/en10111817>
- [4] M. Sinaga, G. Rico, A. Nababan y T. Manullang, "Effect of solvent volume ratio and time extraction of glycerol purification", *Mater. Sci. Eng.*, vol. 309, n.º 1, pp. 1-6, 2018. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/309/1/012123>
- [5] C.G. Chol, R. Dhabhai, A. Dalai y M. Reaney, "Purification of crude glycerol derived from biodiesel production process: experimental studies and techno-economic analyses", *Fuel Process. Technol*, vol. 178, pp. 78-87, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.05.023>
- [6] Contreras, E. Avella, J. Sierra, C. Guerrero y J. Sodr , "Purification of glycerol from biodiesel production by sequential extraction monitored by 1H NMR", *Fuel Process. Technol*, vol. 132, pp. 78-87, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.12.016>
- [7] M. Nanda, Z. Yuan, W. Qin, M. Poirier y X. Chunbao, "Purification of crude glycerol using acidification: effects of acid types and product characterization", *Aus. Ch. Eng.*, vol. 1, n.º 1, pp. 1-7, 2014, doi: www.austinpublishinggroup.com
- [8] F. Cardeño, L. J. Gallego y L. A. Ríos, "Refinación de la fase glicerina del biodiesel de aceite de palma empleando ácidos minerales", *Inf. Tec.* vol. 22, n.º 6, pp. 15-24, doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000600003>
- [9] J. Hernández, J. Acevedo, C. Valdés y F. Posso, "Evaluation of using alternative routes of glycerin obtained in the biodiesel production: a review", *Ing. Des.*, vol. 33, n.º 1, pp. 126-148, 2015, doi: <https://doi.org/10.14482/inde.33.1.5573>

- [10] Z. Ishak, N. Sairi, Y. Alias, M. Aroua y R. Yusoff, "Production of glycerol carbonate from glycerol with aid of ionic liquid as catalyst", *Chem. Eng. J.*, n.º 297, pp. 128-138, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.03.104>
- [11] P. Okoye, A. Abdullah y B. Hameed, "Synthesis of oxygenated fuel additives via glycerol esterification with acetic acid over bio-derived carbon catalyst", *Fuel.*, 209, pp. 538-544, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.08.024>
- [12] S. Kale, S. Umbarkar, M. Dongare, R. Eckelt, U. Armbruster y A. Martin, "Selective formation of triacetin by glycerol acetylation using acidic ion-exchange resins as catalyst and toluene as an entrainer", *Appl. Catal. A Gen.*, 490, pp. 10-16, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2014.10.059>
- [13] M. Aghbashlo, M. Tabatabaei, H. Jazini y H. Ghaziaskar, "Exergoeconomic and exergoenvironmental co-optimization of continuous fuel additives (acetins) synthesis from glycerol esterification with acetic acid using Amberlyst 36 catalyst", *En. Conv. Manag.*, vol. 165, pp. 183-194, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.03.054>
- [14] A. Cornejo, I. Barrio, M. Campoy, J. Lázaro y B. Navarrete, "Oxygenated fuel additives from glycerol valorization. Main production pathways and effects on fuel properties and engine performance: a critical review", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 79, pp. 1400-1413, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.005>
- [15] I. Banu, G. Bumbac, D. Bombos, S. Velea, A. Gălan y G. Bozga, "Glycerol acetylation with acetic acid over Purolite CT-275. Product yields and process kinetics", *Renew. Energy.*, vol. 148, pp. 548-557, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.060>
- [16] B. Dalla, H. Decolatti, M. Legnoverde y C. Querini, "Influence of acidic properties of different solid acid catalysts for glycerol acetylation", *Catal. Today*, vol. 289, pp. 222-230, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2016.09.015>
- [17] D. M. Reinoso y G. M. Tonetto, "Bioadditives synthesis from selective glycerol esterification over acidic ion exchange resin as catalyst", *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 6, n.º 2, pp. 3399-3407, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.05.027>
- [18] I. Franta, *Elastomers and rubber compounding materials*. Praga: Elseiver, 1989.
- [19] J. R. White y K. de Sadahn, *Rubber Technologist's Handbook*. Shawbury, RU: Rapra Publishers, 2001.
- [20] A. Pușcă, Ș. Bobancu y A. Duță, "Mechanical properties of rubber-an overview", *Bull. Trans. U. Brașov*, vol. 3, n.º 52, pp. 107-114, 2001.
- [21] J. S. Dick, *Rubber Technology. Compounding and Testing for Performance*. 2ª ed., Múnich: Hanser Publishers, 2004.
- [22] J. S. Dick. *Basic rubber testing: selecting methods for a rubber test program*. Nueva York: ASTM, 2004.

Herramientas de *software* libre para la creación de contenidos educativos

Free software tools for the creation of educational content

Julián Santiago Santoyo Díaz¹
Karen Hapuc Serrano Medina²

DOI: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.28.6118>

RESUMEN

Para el desarrollo de este trabajo se tuvo en cuenta antecedentes de *software* libre y propietario. Con esto se buscó establecer ventajas y desventajas, así como funciones relacionadas con el uso de plantillas para la creación de contenidos educativos en línea, con el fin de mejorarlas. La idea es apoyar a entidades educativas y a sus profesores en la creación de sus contenidos educativos, con el propósito de que estos sean el actor principal en la creación de sus contenidos, ya que no requerirán conocimientos en lenguajes de programación y se minimizan así los tiempos de creación de contenidos por medio del uso de plantillas.

Palabras clave: Contenidos educativos; *Software* libre; Tecnologías del aprendizaje y del conocimiento (TAC).

ABSTRACT

This paper was developed taking into account background of free software and proprietary. This was intended to seek advantages and disadvantages, functions related to the use of templates for the creation of online educational content, to improve them. The idea is to support educational entities and their teachers in the creation of their educational content, looking for the teacher to be the main actor in the creation of its contents because it will not require knowledge in programming languages, minimizing the creation times of content through the use of templates.

Keywords: Educational content; Free software; Learning and knowledge technologies.



Como citar este artículo: J. Santoyo Díaz y K. Serrano Medina, Herramientas de *software* libre para la creación de contenidos educativos, *ingeniare*, vol. 2, n.º 28, jun. 2020.

-
1. *Master en Sistemas y Servicios en la Sociedad de la Información, Universidad de Valencia, Esp. en Tecnologías Avanzadas para el Desarrollo de SW, Universidad Autónoma de Bucaramanga, Ingeniero de Sistemas, Universidad Autónoma de Bucaramanga, Docente Universidad Autónoma de Bucaramanga. Correo: jsdiaz@unab.edu.co*
 2. *Magíster en Software Libre, Universidad Autónoma de Bucaramanga, Ingeniera de Sistemas, Universidad Antonio Nariño, Ingeniera de Desarrollo en Universidad Antonio Nariño. Correo: karenhserranom@gmail.com*

Fecha de recepción: 11 de diciembre de 2019 • Fecha de aceptación: 24 de febrero de 2020

INGENIARE, Universidad Libre-Barranquilla, Año 16, No. 28, pp. 35-46 • ISSN: 1909-2458

1. INTRODUCCIÓN

La forma apresurada del crecimiento de la tecnología ha generado en la sociedad un cambio de su concepción sobre cómo realizar sus actividades cotidianas. Esto ha influido en la juventud y es una parte vital de su vida diaria. Asimismo, su dependencia ha contribuido a que la educación tradicional tenga nuevos enfoques y se considere la importancia de proyectar la educación aplicando herramientas tecnológicas que impacten de forma constructivista [18].

Es este punto en el que las entidades educativas han incorporado nuevas tecnologías de *hardware* y *software* que les permitan crecer, de modo que logren diversificar la educación y facilitar a las nuevas generaciones adquirir conocimientos a su medida y de forma interactiva. Esto para que perciban la tecnología no como algo solo de uso social-comunicativo, sino social-educativo y pedagógico, y les permita así desarrollar competencias en un mundo contemporáneo [16].

A fin de impactar pedagógicamente hoy a una sociedad pluricultural se requiere de contenidos que sean de interés, amigables, de fácil uso y que generen impacto con la experiencia. En el entorno encontramos una variedad de herramientas que permiten generar conocimiento, unas de uso libre y otras de tipo propietario, como, por ejemplo, las que permiten crear contenidos educativos, u otras que permiten diseñar por medio de eventos de una forma más sofisticada, para lo cual se requiere de conocimientos en lenguajes de programación tales como HTML y JavaScript, entre otros. Otras demandan para la construcción la unión de varias de ellas a fin de estar en capacidad de crear un contenido educativo de calidad [12]. Por lo anterior, es importante considerar el enfoque que quiere plantear el profesor: si es impartir conocimiento o si es permitir la interacción entre el educando y el educador.

Así, entonces, el objeto de estudio para la investigación surge con la iniciativa de crear una herramienta que les permita a las entidades educativas crear y generar contenidos educativos usando plantillas [17]. Hasta el momento no existe una herramienta que permita diseñar contenidos con enfoque educativo, en línea, de fácil uso, que no requieran de conocimientos en lenguajes de programación y diseño y le permitan al mismo profesor proyectar sus ideas, así como plasmarlas para publicar y hacer uso de ellas.

Para articular el contexto de creación de contenidos educativos teniendo en cuenta lo previsto, el proyecto Prototipo de sistema para la creación de contenidos educativos en línea usando plantillas se concibe en el Grupo de Investigación, Preservación e Intercambio Digital de Información y Conocimiento-Prisma, en la línea Tecnología y Sociedad, de la Universidad Autónoma de Bucaramanga, sede principal, de acuerdo con la necesidad de crear contenidos educativos en línea en el menor tiempo posible, en mayor proporción y bajo los criterios de los profesores, quienes no requerirán de conocimientos en lenguajes de programación y diseño. Esto les permitirá encontrar una variedad de plantillas que puedan ser acordes a sus necesidades no solo pedagógicas o metodológicas, sino también didácticas, de uso fácil y

multiplataforma. Una propuesta como esta pone el énfasis en que los nuevos educandos requieren de nuevas tendencias que les generen impacto cognoscitivo de forma didáctica-pedagógica [2].

En fin, no existe una herramienta de fácil uso que permita a los profesores crear sus propios contenidos educativos en línea y disminuir así los tiempos de creación y el número de personas que intervienen en su creación [11]. En la tabla 1 se presentan las causas y las consecuencias del problema.

Tabla 1. Causas y consecuencias del planteamiento del problema

Causas	Consecuencias
La falta de una herramienta que permita al profesor crear su contenido educativo. Falta de herramienta de fácil uso sin requerir conocimientos en programación. Proceso actual para crear un contenido educativo en el que intervienen muchos actores.	<ul style="list-style-type: none"> • Menos cantidad de cursos al mes. • Más tiempo en el ciclo de la creación del contenido educativo a causa de la intervención de varios actores, lo cual genera que cada modificación o cambio en este sea validado por cada uno de ellos. • Limitación de la creatividad del profesor, coaccionando en desarrollar y diseñar con sus propios conocimientos e ideas el contenido en línea. • Poco control del contenido educativo publicado por parte del profesor.

Fuente: elaboración propia.

2. ANTECEDENTES

Para el desarrollo de la investigación se tuvo en cuenta los elementos que se describen a continuación.

2.1. Dimensionamiento del proyecto

A fin de tener conocimiento, clarificar y dimensionar el proyecto, se ha realizado un estudio del tema de acuerdo con los criterios expuestos en la tabla 2.

Tabla 2. Metodología-estado arte

Procedimiento metodológico	
Contextualización	Prototipo de sistema dirigido a la creación de contenidos educativos en línea usando plantillas, para la Universidad Autónoma de Bucaramanga, sector educativo. El prototipo debe permitir diseñar los contenidos por medio de plantillas, en las cuales los profesores elaboren sus contenidos educativos.
Clasificación	Palabras clave: contenidos educativos digitales, software contenidos educativos digitales, plantillas para contenidos educativos digitales, herramientas para diseño de contenidos digitales, software en línea para diseñar contenidos digitales, creación de contenidos educativos digitales, plataformas virtuales educativas, tecnologías del aprendizaje y del conocimiento (TAC), software de gestión de contenidos digitales.
Categorización	Modelos de herramientas asociadas (modelo educativo, modelo tecnológico), metodología desarrollo, tipo de licenciamiento y recursos.
Análisis de datos	Matrices de acuerdo con la información encontrada con respecto a las categorías.

Fuente: elaboración propia.

Se realiza la búsqueda de acuerdo con la contextualización, categorización y clasificación de las palabras clave, en la que se determina que las TAC, por sí solas, no generan conocimiento [10]; es indispensable

que el profesor se apropie de estas herramientas y focalice sus objetivos en el aula, de manera que incluya contenido de gran valor y aplique una pedagogía significativa [7]. Por otra parte, para que las herramientas, el contenido y la pedagogía se enfoquen de forma correcta, el educador debe evaluar qué va a usar según sus necesidades [6]. Por esta razón es indispensable en el caso de investigación detallar y analizar algunas herramientas que permiten diseñar contenidos educativos; hoy en día, se usan y manejan las entidades educativas para el mejoramiento tanto de la calidad educativa virtual como presencial [1].

2.2. Aplicación de *software* con un enfoque educativo

Como el título y los objetivos del proyecto indican, el prototipo de sistema para la creación de contenidos educativos en línea usando plantillas requiere de conocimientos educativos. En este se pretende enfocar y dar a conocer el contenido de una materia específica, teniendo en cuenta que, previamente, ha pasado por el diseño funcional, en el que el experto en contenidos y los asesores pedagógicos implicados llevan a cabo la construcción del material de acuerdo con los objetivos, así como destacan la importancia de sustentar la forma en la que se muestran los diferentes elementos y la interacción con el usuario. En esto radica la importancia de sustentar el desarrollo y la investigación con la aplicación de un modelo educativo que se basó en el diseño instruccional y el modelo tecnológico o modelo de educación centrado en los contenidos [14].

Ahora bien, a fin de ejecutar el diseño instruccional se requiere aplicar cuatro fases y una genérica que afecta a todas anteriores. La figura 1 muestra la estructura de estas fases [13].



Figura 1. Fases del diseño instruccional

Fuente: [5]

Para la investigación se tuvo en cuenta el diseño instruccional según las fases descritas. Esta es una de las estructuras usadas por las universidades para crear sus contenidos educativos, lo cual permite al profesor llevar un estándar en sus temáticas [15].

Con relación a la metodología para la elaboración de *software* educativo, el Dr. Pere Marqués propone una metodología para facilitar el proceso de diseño y el desarrollo del *software* educativo [8] creados con la finalidad específica de ser utilizados como medio didáctico”. En este sentido, destaca once etapas:

- análisis instructivo;
- génesis de la idea;
- diseño instructivo;
- estudio de viabilidad y marco del proyecto;
- guion de multimedia;
- creación de los contenidos;
- elaboración del prototipo;
- evaluación interna;
- evaluación-corrección;
- evaluación externa;
- versión final 1.0.

Las fases descritas se deben interpretar según el caso de estudio. Las fases 1 a 5 son determinantes en el momento de implementar el prototipo propuesto, en este caso la plantilla o página. En ellas los expertos son los que intervienen en el guion y la navegación validando si están acordes a sus necesidades [9]. Para las fases 6 a 9 tanto el experto como el profesor usan una plantilla, definen los contenidos y su implementación en la herramienta. En las fases 10 a 11 es importante que los estudiantes (u otros) intervengan para así dar aval que lo realizado genera impacto en ellos.

3. METODOLOGÍA

De acuerdo con la investigación realizada se evidenció las necesidades en la formulación de la investigación y se determinó implementar una metodología ágil. La seleccionada fue XP (programación extrema), debido al corto tiempo para el desarrollo del prototipo y las pruebas de este [4]. En la figura 2 se pueden visualizar las fases de la metodología.

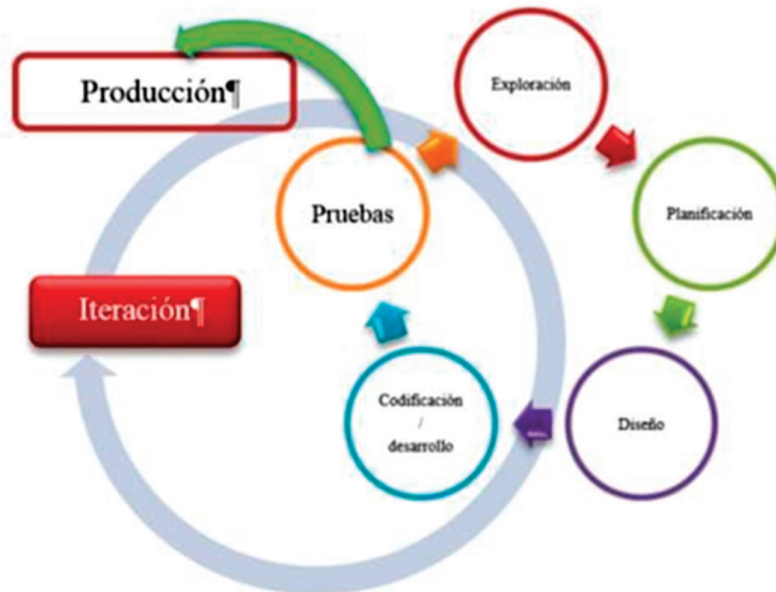


Figura 2. Fases de la metodología de programación XP

Fuente: elaboración propia.

3.1. Prototipo creador de contenidos educativos

A fin de lograr los objetivos en la investigación se desarrolló un prototipo de sistema para la creación de contenidos educativos en línea usando plantillas, una herramienta web (inicia como prototipo) que permite crear contenidos educativos como recurso didáctico. Con esta se pretendió determinar la viabilidad, la pertinencia y el impacto del desarrollo del *software* con enfoque educativo vía web [3]. La forma de determinar estas características fue evaluar su funcionalidad, usabilidad, confiabilidad y rendimiento en función a la población objetivo. Para determinar el impacto se evaluó el *software* mediante la herramienta de encuesta, la cual permitió a los usuarios brindar su perspectiva de la herramienta de acuerdo con su área de conocimiento.

3.2. Funcionalidades del prototipo

El prototipo cuenta con:

- banco de plantillas o páginas;
- plantillas para modificar y estructurar según usuario (profesor);
- previsualización de la plantilla;
- división o estructura de acuerdo con contenidos y categorías;
- editar contenido de la plantilla creada.

3.3. Módulos del prototipo

La estructura del prototipo se fundamenta en:

- módulo de registro y autenticación;
- módulo de plantillas;
- módulo de galería.

3.4. Herramientas y tecnologías

Para que el prototipo pueda usarse sin costo se opta por desarrollar el prototipo con *software* libre. A continuación, se enlistan las herramientas utilizadas. En la figura 3 se pueden visualizar los diferentes componentes.

- Base de datos (MySQL-.6.11)
- Entorno de desarrollo, JAVA eclipse (JEE MARS)
- Servidor de aplicaciones Tomcat 8.0.38
- JQuery
- Ajax
- vCSS y Bootstrap
- vEclipseLink JPA
- vRestful



Figura 3. Arquitectura: herramientas y tecnologías implementadas

Fuente: elaboración propia.

3.5 Estándares utilizados

La calidad del *software* se fundamenta en el uso de estándares de desarrollo.

- Metodología desarrollo XP
- Patrón de arquitectura MVC
- Modelo cliente servidor
- JPA

3.6. Población objetivo

La población objetivo es un factor determinante en el momento de diseñar, desarrollar e implementar *el software*. Un proyecto de *software* está enfocado en la lógica del negocio a modelar.

Los clientes específicos son actores principales durante el proceso de requerimiento, implementación y pruebas. En el caso de estudio, el negocio es de tipo educativo, fundamentado en la educación superior y los clientes son profesores universitarios enfocados en desarrollar contenidos digitales. El ámbito geográfico son los medios educativos que implementan el desarrollo educativo digital. Lo anterior no limita el uso del prototipo, pues puede ser usado por cualquier entidad que requiera de esta herramienta. Se enfatiza que para la investigación se puede hacer uso de ella y realizar las pruebas de la muestra.

4. RESULTADOS

Con el trabajo se obtuvieron los resultados que se relacionan a continuación.

4.1. Análisis de ventajas y desventajas

De acuerdo con la investigación realizada, en el estado del arte se puede determinar que existe una gama de posibilidades y funcionalidades en el momento de escoger un *software* para la creación de contenidos educativos, pero también se encuentran limitantes. Los requerimientos a la hora de diseñar y plasmar una idea se quedan inconclusas por su poca versatilidad en el ámbito educativo. Así, por ejemplo, se encuentran las que se enlistan a continuación.

- La inclusión del contenido de forma fácil y amigable, que no requiera de conocimientos como, por ejemplo, en lenguaje de programación HTML u otros.
- Herramienta de uso libre, de modo que los costos no sean una limitante en el momento de crear el contenido educativo.
- Multiplataforma, en la cual cualquier tipo de usuario independientemente del sistema operativo que tenga instalado en su equipo pueda diseñar el contenido.

- Que pueda crear un contenido en cualquier parte del mundo donde exista conexión a internet, es decir, que sea en línea.

Una herramienta, sistema o prototipo no existe en el mercado con estas especificaciones, por lo que se hace importante el desarrollo del prototipo de sistema para la creación de contenidos educativos en línea usando plantillas.

4.2. Prototipo *software*

El prototipo de sistema para la creación de contenidos educativos en línea usando plantillas con su código fuente con licencia *open source*.

4.3. Documento con las pruebas de funcionamiento

Con los instrumentos creados e implementados se entrega cada uno de ellos a la población objetivo, con los análisis según los resultados.

4.4. Manuales del prototipo

Se entrega el manual técnico y de usuario del prototipo.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados, en el caso de estudio se realizó el estado del arte como metodología de investigación con el fin de recopilar información utilizando palabras claves de búsqueda tales como contenidos educativos digitales, *software*, contenidos educativos digitales, plantillas para contenidos educativos digitales, herramientas para diseño de contenidos digitales, *software* en línea para diseñar contenidos digitales, creación contenidos educativos digitales, plataformas virtuales educativas, tecnologías del aprendizaje y del conocimiento (TAC), y *software* de gestión de contenidos digitales. En conformidad con la terminología fue posible indagar que en el mercado se encuentra una gama de *software* que permite aplicar en ellas contenidos educativos, pero se requiere de una combinación de estos para que pueda crear contenidos de calidad. Además, algunos se rigen con *software* libre y otros con propietario (estos últimos generan costos y, a su vez, poca usabilidad). Otros, por su parte, varían dependiendo si es web o escritorio, lo que limita su ámbito geográfico de uso.

Con lo anterior y con las matrices de referencia que permiten ver el estado actual de este tipo de *software* fue posible determinar la necesidad de un sistema para la creación de contenidos educativos en línea usando plantillas, el cual se sujeta a los requerimientos que se enlistan a continuación.

- Herramienta de uso libre, de modo que los costos no sean una limitante en el momento de crear el contenido educativo.

- La inclusión del contenido sea de forma fácil y amigable, a fin de que no se requiera de conocimientos como, por ejemplo, lenguaje de programación HTML u otros.
- Multiplataforma, en la que cualquier tipo de usuario, independientemente del sistema operativo que tenga instalado en su equipo, pueda diseñar el contenido.
- Diseño amigable que le permita al profesor crear su contenido con base en una plantilla.
- Que pueda crear un contenido en cualquier parte del mundo donde exista conexión a internet, es decir, que sea en línea.

Los requerimientos conllevan al desarrollo del prototipo usando *software* libres tales como entorno de desarrollo Java Eclipse JEE, base de datos Mysql, servidor de aplicaciones Tomcat, Tecnologías JQuery, Ajax, EclipseLink JPA, Restful, CSS y Bootstrap. Sus funcionalidades son: plantillas, edición de plantillas, previsualización del contenido, división o estructura de acuerdo con contenidos y categorías. Además, contiene los siguientes módulos: registro, autenticación y recuperación de contraseña, categorías y contenidos, plantillas.

Las pruebas de funcionamiento y utilidad realizada por profesores se comprobaron a través de las encuestas aplicadas a ellos, cuyos resultados fueron los siguientes.

Con respecto a la funcionalidad:

1. Exactitud: alto.
2. Idoneidad/adecuación: alto.
3. Seguridad de las tareas: alto.

Con relación a la usabilidad:

1. Comprensibilidad: alto.
2. Operabilidad: alto.

En lo que se refiere a la eficiencia:

1. Comportamiento en el tiempo: alto.
2. Accesibilidad: alto.

En cuanto al contenido:

1. Exactitud de la información: alto.

Se puede afirmar que los usuarios encuestados quedaron satisfechos con el *software*, si se parte de que es un prototipo para crear contenidos educativos.

En fin, se recomienda continuar con el proyecto y darle mayor estabilidad para pasar de un prototipo a un sistema estable.

REFERENCIAS

- [1] F. Reimers *et al.*, eds., *Protagonismo docente en el cambio educativo*, Chile AMF Imprenta, vol. 191, 2005. Disponible en <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000144666>
- [2] Unesco, *Declaración mundial sobre la educación superior en el siglo XXI: visión y acción*. París, oct. 1998. Disponible en https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000113878_spa
- [3] J. Tramullas, "Herramientas de software libre para la gestión de contenidos", *Hipertext.Net*, vol. 3, 2005. Disponible en: http://reddigital.cnice.mec.es/6/Documentos/docs/articulo09_material.pdf
- [4] O. T. Gómez, P. P. R. López y J. S. Bacalla, "Criterios de selección de metodologías de desarrollo de software", *Industrial Data*, vol. 13, n.º 2, pp. 70-74, 2010. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/816/81619984009.pdf>
- [5] B. Seels y Z. Glasgow, *Exercises in instructional design*. Columbus: Merrill Pub., 1990.
- [6] E. M. M. Morgado, "Gestión del conocimiento en sistemas 'e-Learning', basado en objetos de aprendizaje, cualitativa y pedagógicamente definidos", tesis doctoral, Dep. Teor. Hist. Ed., Univ. Sal., Sal, Esp., 2010, 273. Disponible en: <https://repositorio.grial.eu/bitstream/grial/335/1/TesisErla-RESUMEN.pdf>
- [7] C. P. Avella-Ibáñez, É M. Sandoval-Valero y C. Montañez-Torres, "Producción de contenidos digitales, una oportunidad para los profesionales de las TIC", *Rev. I3 +*, vol. 1, n.º 1, pp. 106-125, 2014, doi: <https://doi.org/10.24267/23462329.60>
- [8] P. Marquès, *Metodología para la elaboración de software educativo*. Barcelona: Estel, 1995.
- [9] L. F. Marín y F. G. Tobón, "Formulación de criterios para la selección de metodologías de desarrollo de software", trabajo de grado, Fac. Ing., Univ. Tec. Per., Per., Col., 2014. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/71398407.pdf>
- [10] M. M. López, "De las TICs a las TACs: la importancia de crear contenidos educativos digitales", *DIM: Didáctica, Innovación y Multimedia*, n.º 27, pp. 1-15, 2013. Disponible en: <https://www.raco.cat/index.php/DIM/article/viewFile/275963/363904>
- [11] M. L. C. González, "Recursos educativos TIC de información, colaboración y aprendizaje", *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, (39), pp. 69-81, 2011. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/368/36818685007.pdf>
- [12] F. G. García, "Contenidos educativos digitales: construyendo la sociedad del conocimiento", *Red Digital: Revista de Tecnologías de la Información y Comunicación Educativas*, (6), pp. 1, 2005. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1983578>
- [13] Fundación Universitaria Católica del Norte, *El diseño instruccional: reflexiones y perspectivas en la Católica del Norte Fundación Universitaria*. 2013.

- [14] Á E. Castañeda Hevia y J. A. Echeverría, “Un modelo pedagógico y tecnológico sustentable para la enseñanza de postgrado a través de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) en países de América Latina. Experiencias de su aplicación en Cuba”, 2010. Disponible en: <https://repositorial.cuaed.unam.mx:8443/xmlui/handle/20.500.12579/2488>
- [15] C. Belloch, *Diseño instruccional, Unidad de Tecnología Educativa (UTE)*. Universidad De Valencia, 2013. Disponible en: <Http://Www.Uv.Es/Bellochc/Pedagogia/EVA4.Pdf>
- [16] S. Álvarez García, “Uso de contenidos educativos digitales a través de sistemas de gestión del aprendizaje (LMS) y su repercusión en el acto didáctico comunicativo”, tesis doctoral, Dep. Com. Aud. Pub., Univ. Comp., Mad., Esp., 2010. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/11631/>
- [17] V. Núñez, “Plantillas de social media marketing”, Vilmanunez.com, 2018. <http://vilmanunez.com/plantillas-social-media-marketing>
- [18] M. A. Pease, F. Figallo y L. Ysla, *Cognición, neurociencia y aprendizaje: el adolescente en la educación superior*. Lima: Fondo Editorial de la Universidad Católica del Perú, 2016.

Aprendizaje automático para la predicción de calidad de agua potable

Machine learning for predicting drinking water quality

Andrea C. Aguilar Aguilar¹
Francisco F. Obando-Díaz²

DOI: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.28.6215>

RESUMEN

La conservación y el cuidado del agua es uno de los problemas medioambientales más importantes en la actualidad. La calidad de agua hace referencia a los valores apropiados de los parámetros fisicoquímicos y/o biológicos del agua para un uso específico. Su monitoreo proporciona información útil a fin de procesarla por herramientas de aprendizaje automático con fines predictivos. Este documento tiene como objetivo presentar una revisión de las técnicas de aprendizaje automático utilizadas en la estimación de la calidad de agua. Los trabajos investigativos muestran que las redes neuronales (RN), los sistemas de inferencia neurodifusa (Anfis) y las máquinas de vectores de soporte (MVS) son las técnicas predictivas más utilizadas. Los resultados obtenidos en las medidas de exactitud evidencian la viabilidad de estimar la calidad de agua en ríos, cuencas y lagos, entre otros.

Palabras clave: Análisis de datos; Aprendizaje automático; Calidad de agua; Predicción; Inteligencia artificial.

ABSTRACT

Water conservation and care is one of the most important environmental problems today. Water quality refers to the appropriate values of the physicochemical and / or biological parameters of the water for a specific use and its monitoring provides useful information to be processed by machine learning tools for predictive purposes. This document aims to present a review of machine learning techniques used in estimating water quality. Research works show that neural networks (RN), neuro diffuse inference systems (Anfis), and support vector machines (MVS) are the most widely used predictive techniques, the results obtained in the accuracy measures show the viability of estimate the quality of water in rivers, basins, lakes, among others.

Keywords: Data analysis; Machine learning; Water quality; Prediction; Artificial intelligence.



Como citar este artículo: A. Aguilar Aguilar y F. Obando-Díaz, Aprendizaje automático para la predicción de calidad de agua potable, *ingeniare*, vol. 2, n.º 28, jun. 2020.

¹ Ingeniera en Automatización Industrial, estudiante de la Maestría en Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5695-2973>. Correo: acaguilar@unicauca.edu.co

² Magister en Electrónica y Telecomunicaciones, Docente Universidad del Cauca, Popayán, Colombia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5666-6969>. Correo: fobando@unicauca.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

El agua potable como recurso natural limitado es una fuente vital para la supervivencia del ser humano y de otras especies. Nuestro planeta está compuesto de, aproximadamente, 70 % de agua, pero de esta solo un 3 % es agua dulce y se encuentra contenida, en su mayoría, en aguas subterráneas y casquetes polares [1]. La problemática ambiental que se ha incrementado en los últimos años hace que sus consecuencias se evidencien en la reducción del acceso y la disponibilidad al agua potable [2].

El término *calidad de agua* se asocia a un conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos cuyas mediciones proporcionan la información sobre el estado en el que se encuentra un cuerpo de agua [3]. Garantizar las condiciones apropiadas para el consumo y tener una gestión eficiente de este recurso en cuanto a distribución, aprovechamiento y tratamiento del agua son algunos de los temas que más preocupan a las organizaciones mundiales y a la comunidad científica que trabaja por su conservación y cuidado [4].

Dentro de los procesos de análisis y control del agua, las acciones de monitoreo que se realizan normalmente ya no son estrategias suficientes para garantizar su calidad [5]. La medición de parámetros puede resultar una tarea compleja en la medida en que se requieren diferentes procesos, equipos y personal capacitado para realizar la toma de datos, por lo que contar con información de un sistema representa una enorme ventaja si esta se analiza de forma eficiente.

En este sentido, la predicción de la calidad de agua tiene un gran aporte en el campo medioambiental, así como en los sectores sociales y económicos que dependen de este preciado líquido [6]. La inserción de la tecnología y la inteligencia artificial han permitido desarrollar tanto algoritmos como técnicas de predicción que hacen posible estimar las condiciones de calidad de un cuerpo de agua a partir de datos que han sido recolectados previamente [7]. El presente trabajo propone un modelo híbrido predictivo capaz de utilizar datos y conocimiento para brindar los resultados, enriqueciéndolo, en el caso que así lo requiera, con recomendaciones que faciliten la toma de decisiones. Se utilizaron técnicas de Inteligencia Artificial para representar en un esquema ontológico el conocimiento obtenido al aplicar reglas de asociación. Tradicionalmente, los problemas de predicción se resuelven mediante modelos estadísticos de regresión tales como regresión simple o múltiple, dependiendo del número de variables [8]. Otro modelado que se encuentra con frecuencia son los árboles de regresión para series temporales [9]. Entre las técnicas utilizadas en la inteligencia artificial, las redes neuronales (RN) encabezan la lista de las más difundidas [10].

Este artículo tiene como objetivo presentar una revisión de técnicas utilizadas en la estimación de parámetros y calidad de agua, así como los planteamientos futuros de las tecnologías para este campo. El documento inicia con una breve descripción de la evaluación de la calidad de agua, la predicción y

el aprendizaje automático, luego se expone la revisión de trabajos relacionados con la estimación para calidad de agua, la discusión de los resultados encontrados, las conclusiones y las referencias.

2. METODOLOGÍA

La metodología para la selección de trabajos que se consideran en este documento estableció como criterios de inclusión artículos originales de los últimos cuatro años en idioma inglés, de las categorías calidad de agua potable, estimación de parámetros fisicoquímicos y/o biológicos, índices de calidad de agua y técnicas de aprendizaje automático. No se consideraron temáticas de predicción de caudal, consumo y distribución de agua, estimación de índices de contaminación y usos del agua diferentes al de consumo humano. La cadena de búsqueda general fue: “prediction” AND “water quality” OR “water quality index, WQI” AND “machine learning” en las bases de datos bibliográficas ScienceDirect y SpringerLink. El protocolo se desarrolló con base en las recomendaciones para revisiones sistemáticas [11]. Los trabajos encontrados se importaron al gestor de referencias Mendeley, en el cual se eliminaron duplicados y se clasificaron los artículos por tópicos de interés: parámetro estimado, toma de datos y variables de entrada (modelado), correlación de parámetros, técnicas de predicción y estrategias de validación. Este texto de investigación cuenta con más de cincuenta artículos seleccionados producto de la metodología expuesta.

3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA

La calidad de agua puede clasificarse de acuerdo con el uso final al que se destine. Es importante destacar que una vez haya cumplido su función, ella retorna nuevamente al sistema hidrológico, por lo que los tratamientos de potabilización son vitales a fin de minimizar riesgos potenciales por contaminación. De manera más práctica, los análisis de calidad de agua se basan en las mediciones de parámetros sobre fuentes hídricas (ríos, lagos, aguas subterráneas, etc.) realizadas por organismos medioambientales de control y se nutren con la información proporcionada por diferentes sectores en una recolección de datos sistémica, la cual puede utilizar los indicadores para su representación [12]. El agua que se destina para el consumo humano debe cumplir con los criterios admisibles reglamentados para cada parámetro. En el caso de los índices, estos se construyen a partir de dos o más parámetros; los índices de calidad (ICA) y contaminación del agua (ICO) son los más comunes [13]. La figura 1 muestra los escenarios de evaluación de la calidad de agua.

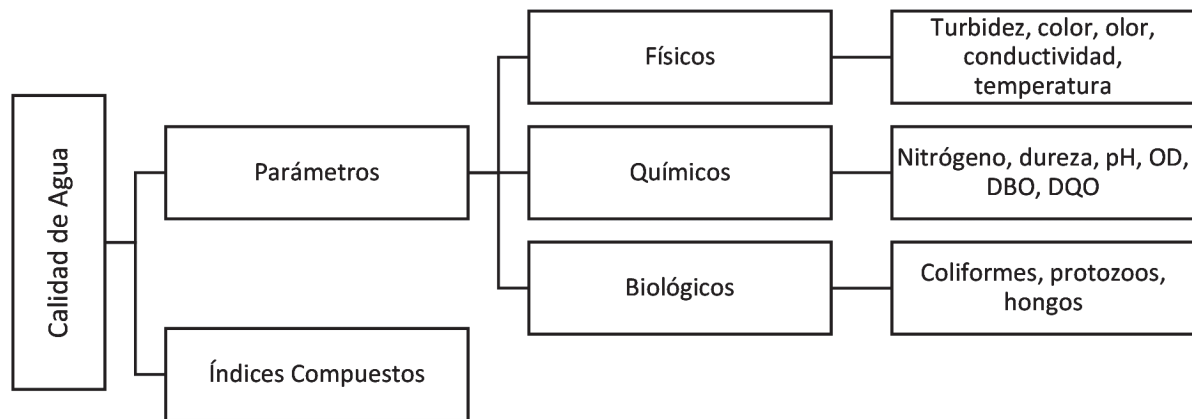


Figura 1. Evaluación para calidad de agua

Fuente: elaboración propia.

3.1. Estimación de variables y aprendizaje automático

El concepto de *predicción* se enfoca en la extracción de información de datos reales previos de un proceso a fin de predecir patrones de comportamiento o tendencias de posibles eventos futuros. Su aplicación se da en diferentes campos de la ciencia y en fenómenos naturales, no obstante, las tareas de predicción pueden llegar a ser complejas debido al número de variables, el grado de iteración y la dinámica desconocida del fenómeno que se estudia [14].

El procesamiento y el análisis de datos que se efectúa en un aprendizaje automático se lleva a cabo con una alta velocidad y con una mínima intervención humana en la toma de decisiones. Dependiendo de los requerimientos del problema es posible escoger entre distintos métodos y técnicas disponibles, capaces de seguir operando con alto rendimiento, incluso cuando se adicionan más valores durante su ejecución [15]. El aprendizaje supervisado es uno de los más comunes en este campo y se utiliza, generalmente, cuando se conocen los parámetros de la salida deseada; entre las tareas más frecuentes se encuentran la regresión y la clasificación. Los algoritmos no supervisados ajustan su modelo utilizando solo la información de entrada y no están predisuestos operativamente por los valores de salida esperados, lo que permite identificar o agrupar estructuras de un conjunto de datos [16]. En el proceso de aprendizaje, para el caso de los algoritmos supervisados, es posible identificar dos fases en las que es necesario dividir el total de datos en dos conjuntos: pruebas y entrenamiento, o mejor conocidos como *testing and training* [17].

Durante la fase de entrenamiento se construye el modelo utilizando uno de los dos conjuntos de datos a fin de supervisar la variable a estimar. De esta manera, el modelo aprende sobre las posibles causas que influyen en su comportamiento. En la fase de pruebas se verifica la validez del modelo sobre el otro

conjunto, se calcula el error entre las predicciones del modelo y los valores reales. La fase de pruebas también permite evitar el sobreajuste que representa un ajuste muy bueno a los datos para los que se conoce el resultado esperado pero bajo rendimiento en nuevas estimaciones.

Otra estrategia utilizada para evitar el sobreajuste es la validación cruzada, en la cual se divide el conjunto de entrenamiento en k subconjuntos; una vez seleccionado un subconjunto k como conjunto de prueba, los datos restantes se utilizan como datos de entrenamiento, repitiendo el proceso para k iteraciones [18]. La medición de la precisión entre los valores reales y las estimaciones se realiza utilizando las medidas de exactitud, algunas de las cuales son MAPE, MAE, RMSE y [19].

3.2. Aprendizaje automático para la estimación de calidad de agua

Hoy en día es posible extraer una gran cantidad de información valiosa sobre los fenómenos que ocurren. En el caso de los ecosistemas hídricos, las investigaciones relacionadas con la estimación de variables utilizando técnicas de aprendizaje automático se han incrementado en los últimos años, lo que ha permitido obtener avances importantes. Estas estrategias también benefician la captura de datos que, en su mayoría, se realizan de forma digital y por métodos manuales, facilitando el estudio de cuerpos de agua en lugares remotos. La tabla 1 resume las características y las técnicas de los trabajos seleccionados de bases de datos bibliográficas como ScienceDirect y SpringerLink.

Tabla 1. Investigaciones recientes sobre estimación de calidad de agua

ID	Proyecto	Técnica	Parámetro estimado	Parámetros de entrada	Validación
1.	Predicción del Índice de calidad de agua en la cuenca del río Peak, Malasia [20].	Red neuronal	ICA	OD, ST, pH, NH3-NL, T°, CE, Turbidez, D S, TS, NO3, Cl, PO4, As, Zn, Ca, Fe, K, Mg, Na, OG, E-Coli, Coliformes, Cd, Cr, Pb	MSE
2.	Estimación del Índice de calidad de agua potable-agua subterránea, Bardaskan [21].	Red neuronal de inferencia difusa (Anfis)	ICA	DT, CaH, Turbidez, pH, T°, TDS, CE, ALK, Mg, Ca, K, Na, Sulfato, Bicarbonato, Fluoruro, NO3-, NO2-, Cl-	MAE R ²
3.	Predicción de parámetros de calidad para una represa, Cheongpyeong [22].	Red neuronal	T°, OD, pH, CE, TN, TP turbidez y clorofila	T°, OD, pH, CE, TN, TP	RMSE R ²
4.	Estimación de parámetros sobre un río en Irán [23].	Anfis-híbrido	CE, TDS, sodio, dureza carbonatos, dureza total	CE, TDS, SAR, CH, TH, pH, Nap, Cl, Carbonato, Sulfato, Mg y Ca	RMSE MAPE R ²
5.	Predicción de fósforo y nitrógeno en los drenajes de un lago en Manzala [24].	Anfis	Fosforo Nitrógeno	Caudal, pH SST, CE, TDS, T°, OD, Turbidez	RMSE R ²
6.	Estimación de la calidad de agua en un embalse [25] which is a frequently used metric of water quality in reservoirs. Data collected over ten years (1995-2016).	Red neuronal Máquina de vectores de soporte, árbol de regresión, regresión lineal.	Índice de estado trófico de Carlson	T°, DBO, SS, DQO, NH3, y variables categóricas, temporada y lugar	RMSE MAE MAPE R ²

ID	Proyecto	Técnica	Parámetro estimado	Parámetros de entrada	Validación
7.	Predicción del índice de calidad del agua en el río Tigris, Bagdad [26] and its values were used as the dependent variable in stepwise multiple linear regression (MLR).	Regresión lineal	ICA	Turbidez, CE DQO, dureza y pH	R ²
8.	Estimación de parámetros de calidad de agua del río Tیره [27].	Red neuronal Máquinas de vectores de soporte Red neuronal-modificado	Ca, Cl, CE, HCO ₃ , Mg, Na, So ₄ , TDS, pH	Ca, Cl, EC, HCO ₃ , Mg, Na, So ₄ , TDS, pH	RMSE R ²
9.	Estimación del oxígeno disuelto, ríos urbanos, China [28].	Máquinas de aprendizaje extremo (ELM) Red neuronal perceptrón multicapa	Oxígeno disuelto	Combinaciones de T°, pH, DO, índice de permanganato, NH ₃ -N, CE, DQO, TN y TP	RMSE MAE R ²
10.	Estimación de Índice de calidad de agua sobre un lago, China [29].	Máquinas de vectores de soporte-híbrido	ICA	pH, HCO ₃ , TP, TN, DBO, NH ₃ , -N, Fe, Cu, Zn, fenol, DO, TDS, Cl, SO ₄ , Na, Ca, Mg, COD, PO ₄ , Cr	RMSE R ²
11.	Predicción de la demanda bioquímica de oxígeno, Argelia [30].	Anfis	DBO	TIN, COD, O ₂ , TDS, PO ₄ Combinación	RMSE MAE R ²
12.	Estimación de CO ₂ para un reservorio [31].	Red neuronal modificado	CO ₂	Clorofila, T° carbono orgánico disuelto, TP, CO ₂ .	RMSE MAE R ²
13.	Estimación de parámetros para evaluar aguas residuales, EE. UU. [32].	MVS Arboles de regresión	TSS, TDS, DQO, DBO	TSS, TDS, DQO, DBO	RMSE R ²
14.	Predicción de bioindicadores sobre un río, China [33].	MVS	Bioindicadores	EC, DO, BOD ₅ , COD NH ₃ -N, TP, Hidromorfología	MSE R ²
15.	Estimación microbiana del agua lago Noruega [34] enhancing their applicability in full-scale plants require investigation of their capabilities and limitations in key aspects of the water supply chain. This study comprehensively evaluates the performances of three artificial neural network (ANN).	Redes neuronales MVS	Coliformes	pH, T°, CE, Turbidez, color, alcalinidad, coliformes	MSE

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 1 se presentan los trabajos de estimación de parámetros e índices de calidad de agua sobre diferentes cuerpos de agua, así como las técnicas utilizadas y los parámetros de entrada sobre los cuales se ha realizado la toma de datos, generalmente en sitio. En [20] se expone una estrategia para estimar en tiempo real el índice de calidad de agua sobre el río Peak en Malasia. Como se ha mencionado, una de las ventajas de la estimación es facilitar el acceso y el procesamiento de la información; para esto no se tienen en cuenta los parámetros de DBO (demanda biológica de oxígeno) y DQO (demanda química de oxígeno), ya que para estas no es posible obtener un valor por medición directa. En cuanto

a las técnicas, se utiliza una red neuronal y múltiples redes neuronales, con lo cual se consigue mejorar los resultados de desempeño.

Otro ejemplo se da en [22], en el que se estima la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH, la conductividad, la TN, la TP, la turbidez y la clorofila en una represa utilizando una red neuronal. Se obtienen buenos resultados de RMSE y para siete de los ocho parámetros estimados. En [23] se realiza un análisis de correlación con el fin de determinar el mejor conjunto de parámetros de entrada para el modelado. Se compararon los resultados entre las técnicas Anfis y Anfis híbrida, es decir, una combinación con la optimización de enjambre de partículas y colonia de hormigas, evidenciando un mejor desempeño en esta última; ejemplos similares se muestran en [28] y [30].

En cuanto a los índices, formados por dos o más parámetros, en [21] y [26] and its values were used as the dependent variable in stepwise multiple linear regression (MLR se estima el índice de calidad de agua sobre una fuente subterránea y un río a partir de diferentes parámetros de entrada aplicando las técnicas Anfis y regresión lineal, respectivamente. En el control de riesgos por contaminación es posible evaluar los drenajes y los vertimientos a una fuente de agua. La estimación puede aplicarse tanto en índices de calidad como de contaminación o en parámetros específicos, los cuales pueden ser importantes para un estudio o como referencia de control; la estimación del fósforo y el nitrógeno en un lago es un ejemplo de este tipo de análisis [24].

La calidad del agua también se ve afectada por factores externos que en algunos estudios se toman en consideración a fin de poder mejorar los resultados. Estas variables se identifican como categóricas y pueden estar relacionadas con la distribución geográfica, las estaciones del año y hasta información socioeconómica del sector. En [25] se evalúan diferentes técnicas de aprendizaje computacional tales como RN, MVS, árboles de decisión y regresión lineal, a fin de estimar un índice de calidad muy característico en embalses. En el estudio, además, se comparan los desempeños de diferentes *software* de modelado.

De forma similar, en [29] los datos hiperespectrales de teledetección contribuyen a controlar la calidad de los efluentes en la estimación del índice de calidad, y en [31] la estimación del CO² se da a partir de parámetros y datos categóricos utilizando redes neuronales modificadas.

Estudios comparativos de técnicas de aprendizaje automático también se consideran en el campo medioambiental. En algunas de ellas es posible encontrar cambios de la estructura original, como es el caso de las redes neuronales que se combinan con otras estrategias para potenciar sus resultados. En [27] se realiza un estudio comparativo de RN, MVS y RN híbridas. Otra comparación se da en [32], en el que se estiman parámetros para evaluar la calidad de agua residual de vertimientos en cuencas, al comparar el desempeño de las MVS y los árboles de regresión.

La calidad de agua no es exclusiva para el consumo del ser humano. Los ecosistemas acuáticos también requieren que el agua cumpla ciertas condiciones que garanticen su conservación. Además de los parámetros fisicoquímicos, los bioindicadores pueden proporcionar información valiosa para controlar la calidad de agua dulce. En [33] los indicadores se estiman a partir de parámetros fisicoquímicos e información biológica del cuerpo de agua aplicando la técnica de MVS. De igual manera, se estima la calidad microbiana de un lago comparando dos técnicas de aprendizaje automático [34].

3.3. Evaluación del desempeño

Para evaluar la precisión en las estimaciones de un modelo predictivo es posible utilizar las medidas de exactitud, en donde es el valor real, el estimado y el número de muestras de datos, algunas de estas se enlistan y describen a continuación.

- *Media de la desviación porcentual absoluta (MAPE)*. Mide en términos porcentuales el error absoluto, muy efectivo en el momento de identificar diferencias entre modelos; no se afecta por valores estimados o reales (0 % representa un ajuste perfecto). Se calcula a partir de la ecuación 1.

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y-y'}{y} \right| \quad (\text{Ecuación 1})$$

- *Error absoluto medio (MAE)*. Mide el promedio de las medias absolutas entre los valores reales y los estimados. Es un valor lineal y no es muy sensible frente a valores atípicos; está dado por la ecuación 2.

$$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^n |y' - y|}{n} \quad (\text{Ecuación 2})$$

- *Error cuadrático medio (MSE)*. Mide el error cuadrado promedio entre el valor estimado y el valor real para cada punto, y su resultado no es negativo (ecuación 3); es de más utilidad cuando se trata de grados errores puesto que un valor de MSE alto también puede representar un buen ajuste.

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y' - y)^2 \quad (\text{Ecuación 3})$$

- *Raíz del error cuadrático medio (RMSE)*. Para dos conjuntos de datos, el RMSE mide el tamaño del error. Es la raíz cuadrada de la suma de errores entre un valor estimado y uno observado o real. Es eficiente al revelar diferencias muy notables y se da en términos de la variable analizada. Esta dada por ecuación 4.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y' - y)^2} \quad (\text{Ecuación 4})$$

- *Coefficiente de determinación (R^2)*. Evalúa la calidad del modelo al proporcionar información sobre qué tan bien el modelo se aproxima a los valores observados. Se obtiene de la ecuación 5. El numerador

representa la suma de cuadrados de los residuos y el denominador corresponde a la suma total de cuadrados, y se da entre 0 y 1, donde 1 denota que las estimaciones de regresión se ajustan perfectamente a los datos.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y' - y)^2} \quad (\text{Ecuación 5})$$

En la tabla 2 se presenta un resumen de las técnicas, de los parámetros estimados y las medidas de exactitud utilizadas en los trabajos seleccionados.

Tabla 2. Comparación de características técnicas de predicción

ID	Algoritmo de predicción	Parámetros de salida	Exactitud				
			RMSE	MAPE (%)	MSE	MAE	R
1.	Redes neuronales	ICA-indica de calidad de agua	—	—	0,9090	—	0,9340
	Múltiples redes neuronales		—	—	0,1740	—	0,1156
2.	Anfis	ICA	2,89	—	—	0,923	0,2808
3.	Redes neuronales	T°	0,360	—	—	—	0,998
4.	Anfis	CE	4,30	7,73	—	—	0,91
	Anfis-híbrido	CE	3,50	4,69	—	—	0,97
5.	Anfis	Fósforo	0,023	—	—	—	0,94
		Nitrógeno	1,109	—	—	—	0,92
6.	Redes neuronales	Índice de estado trófico de Carlson	4,644	7,721	—	3,622	0,865
	Máquinas de vectores de soporte		5,035	8,090	—	3,814	0,840
	Arboles de regresión		5,080	8,534	—	3,991	0,835
	Regresión lineal		5,115	8,351	—	3,936	0,835
7.	Regresión lineal	ICA	—	—	—	—	0,974
8.	Redes neuronales	Ca -calcio	0,295	—	—	—	0,84
	Máquinas de vectores de soporte		0,193	—	—	—	0,94
	Redes neuronales-modificado		0,313	—	—	—	0,85
9.	Extreme Machine Learning	OD	0,518	—	—	0,359	0,870
	MLPNN multilayer perceptron neural network		0,365	—	—	0,262	0,937
10.	MVS-híbrido	ICA	165,91	—	—	—	0,92
11.	Anfis	DBO	3,2991	—	—	2,3715	0,8906
12.	Red neuronal modificado	CO2	418,48	—	—	295,34	0,61
13.	MVS	TSS	1049	—	—	—	0,97
	Arboles de regresión		3486	—	—	—	0,906
14.	MVS	Bioindicador	—	—	87,72	—	0,98
15.	Redes neuronales	Coliformes	—	—	84,57	—	—
	MVS		—	—	140,09	—	—

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la Tabla 2, en la evaluación del desempeño, las medidas de R^2 y RMSE son las más utilizadas, seguidas por MAE, MAPE y MSE. Los resultados de estimación de las técnicas de aprendizaje automático se encuentran con valores por encima de 0,61 y alcanzan valores de 0,998 para R^2 , lo que muestra que es posible estimar parámetros o índices de calidad de agua con muy buena fiabilidad. Se observa también que los resultados de exactitud mejoran en los estudios comparativos en los que se contrasta la estructura original con una híbrida [19], [27] y [24].

Las técnicas más utilizadas de acuerdo con la información encontrada son las RN, MVS, Anfis, regresión lineal y árboles de regresión. Se evidencia también que, en la mayoría de los casos, los resultados de las técnicas híbridas son superiores a los que se obtienen con la técnica tradicional; algunas alternativas dependerán, entonces, del grado de complejidad que se pueda tener. La regresión lineal permite crear un modelo que describe la relación entre una variable de respuesta basada en una o más variables predictoras. En los árboles de regresión, la salida del modelo se estima con base en el aprendizaje de las reglas de decisión inferidas de las características de los datos. Las máquinas de vectores de soporte construyen un hiperplano a partir de un conjunto de muestras categorizadas, y el algoritmo puede predecir a qué categoría pertenece una nueva muestra. La técnica Anfis integra las redes neuronales y la lógica difusa, su sistema de inferencia responde a reglas difusas y es ideal para sistemas no lineales [35].

Otro elemento destacable es el número de datos utilizados para la estimación. Aunque no se especifica un valor mínimo o máximo para el modelado, es indispensable contar con una buena cantidad de datos, ya que normalmente estos se dividen tanto para la etapa de pruebas como de entrenamiento y validación. Pese a que no todos los artículos muestran una información detallada referente a la cantidad de datos, en la figura 2 se presenta una distribución en años del tamaño de la información utilizada en cada caso.

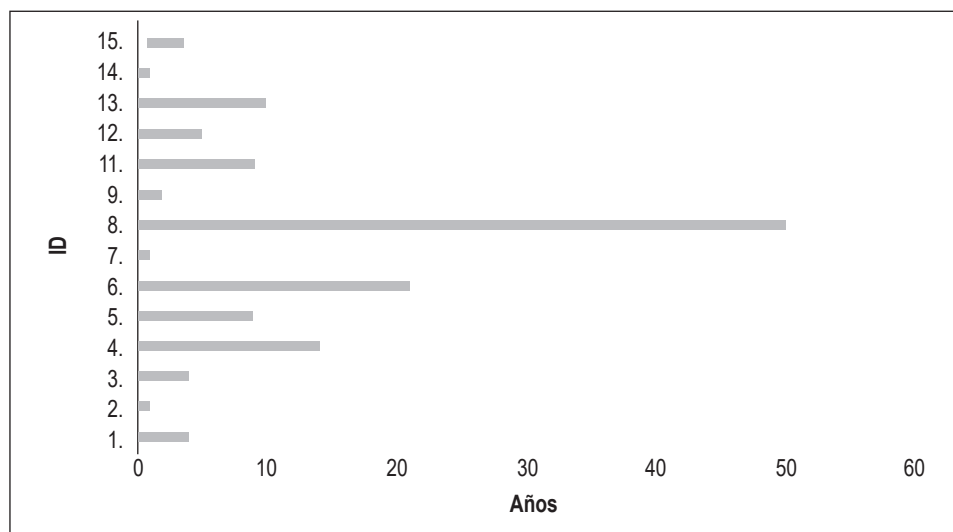


Figura 2. Datos utilizados en la estimación de calidad de agua. Trabajos seleccionados

Fuente: elaboración propia.

En la figura 2 se observa que los proyectos trabajan con bases de datos iguales o superiores a un año, once artículos entre uno y diez años y tres estudios con catorce, veintiuno y más de cincuenta años de información recolectada. El estudio ID [25], que no se muestra en el gráfico, presenta una distribución espacial y no temporal, es decir, en un día se tomó una muestra en 48 puntos diferentes a lo largo del río, lo que evidencia dos tipos de distribuciones para los análisis de calidad de agua en ríos [36].

4. DISCUSIÓN

El aprendizaje automático se ha convertido en una buena herramienta para los procesos de estimación de calidad de agua, con mejores resultados en comparación con las técnicas estadísticas tradicionales. El uso de la tecnología facilita el tratamiento de los datos y la precisión de los modelos que se construyen. Pese a que se puede encontrar una gran variedad de estrategias, las redes neuronales han abarcado este campo con buenos resultados [37]. Los desafíos se centran ahora en combinar sus propiedades para modelar sistemas con características no lineales y no estacionarias. En el caso de los algoritmos genéticos (GA) y la optimización por enjambre de partículas (PSO), estos se emplean en la selección de subconjuntos y la optimización de parámetros de entrada [38]. De esta manera, los algoritmos de aprendizaje pueden realizar posteriormente las tareas de predicción.

Las MVS muestran mayor eficiencia en su entrenamiento, menor probabilidad de sobreajuste y un mejor comportamiento cuando no hay suficiente información de entrada. Las RN se aplican cuando existe una posible relación entre las entradas y las salidas del sistema, son flexibles y tienen buena respuesta ante patrones no lineales imprevistos [39]. Las técnicas Anfis, una combinación entre redes neuronales y lógica difusa, permiten incorporar conocimiento *a priori* mediante reglas difusas [40]. Estudios comparativos de técnicas pueden aportar información relevante a la hora de escoger la estrategia de modelado [41] to continually provide water to consumers with appropriate quality, quantity and pressure, water utilities require accurate and appropriate short-term water demand (STWD, algunos de estos evalúan el desempeño de las técnicas, como es el caso de las redes neuronales frente a las máquinas de vectores de soporte [42] y otros métodos como, por ejemplo, los bayesianos [43], [44].

La estimación para calidad de agua se da, entonces, tanto para parámetros fisicoquímicos como biológicos e índices compuestos (p. ej., el ICA). La selección de la variable de salida dependerá de los objetivos de estudio, con qué datos se cuenta y el tipo de fuente hídrica que se analiza. Los valores de correlación son útiles para identificar las relaciones entre parámetros y así elegir la mejor combinación de entrada para el modelado. Algunas de ellas, como el TDS, se encuentran fuertemente correlacionadas con la conductividad, así como los sólidos totales con los sólidos suspendidos y disueltos. Otras relaciones importantes se dan entre turbidez, color conductividad y sólidos totales, y entre DBO, oxígeno, temperatura y pH [45].

De acuerdo con los trabajos seleccionados, el pH, la conductividad, el oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno son los parámetros que más se estiman en calidad de agua, lo cual puede indicar que la incidencia sobre otros parámetros es significativa. La alcalinidad, por ejemplo, es un indicador de la capacidad de amortiguación del medio (resistencia a las variaciones en el pH) y es causada por la presencia de iones de bicarbonato, carbonato e hidroxilo, por lo que el pH aumenta más rápido en aguas altamente alcalinas [46]. Las temperaturas bajas favorecen los niveles de oxígeno disuelto en el agua que está relacionado con minerales tales como los carbonatos de calcio y magnesio. Además, la conductividad es sensible a la temperatura y puede apreciarse en los valores de correlación de los parámetros [47].

Factores socioeconómicos y geográficos pueden influir en la calidad de agua, lo que implica considerar estas variables categóricas como información importante para mejorar la exactitud de las predicciones[48]. Si bien los algoritmos de aprendizaje automático son capaces de procesar diferentes variables de entrada y un número considerable de datos en beneficio de la exactitud y la precisión, no siempre es fácil realizar la medición de todos los parámetros, porque se requieren equipos especializados, análisis posteriores en un laboratorio y las fuentes se encuentran en lugares remotos; por tanto, es importante la selección de los parámetros que mejor representen la dinámica del sistema. La implementación de los modelos predictivos a fin de obtener la información en tiempo real también puede representar una ventaja para el estudio de cuerpos de agua en zonas de difícil acceso [49].

Las técnicas de aprendizaje automático se aplican, en su mayoría, sobre ríos, lagos y fuentes de agua en movimiento. El agua almacenada, por su parte, se utiliza en sistemas de distribución, tratamiento y reserva que requieren, además, un control riguroso para su consumo humano. Las herramientas predictivas pueden ser útiles en este caso no solo para la predicción de parámetros, sino también en la estimación de los tiempos en los que se puedan conservar las condiciones mínimas de calidad [50]. Si bien en los sistemas hídricos se generan múltiples reacciones, estas no suelen evidenciarse de forma inmediata al hacer que los tiempos de respuesta sean largos y varíen de un medio a otro, lo que puede guardar relación, entre otros factores, con el volumen del agua [51].

De acuerdo con el análisis de la literatura encontrada, es posible aprovechar las ventajas predictivas en el estudio de la evolución temporal de parámetros fisicoquímicos, a fin de cuantificar el tiempo estimado en el que se pueden conservar las propiedades óptimas de una masa de agua para un uso definido.

5. CONCLUSIONES

Las técnicas de aprendizaje automático de mayor aplicabilidad en el recurso hídrico, de acuerdo con la revisión bibliográfica realizada son las RN, MVS y Anfis con porcentajes del 36 %, 24 % y 16 %, respectivamente; el 24% restante corresponde a la implementación de otro tipo de estrategias. Es evidente que el modelado híbrido es una herramienta mejorada que arroja buenos resultados en comparación

con técnicas predictivas tradicionales. Algunas propuestas investigativas podrían girar en torno a la comparación entre métodos híbridos, en la construcción de híbridos con otras metodologías e incluir características del entorno, así como la implementación de los modelos para aplicaciones en tiempo real, lo que contribuye a facilitar las actividades de muestreo. Las técnicas aquí mencionadas tienen diferentes ventajas, así como limitaciones; la selección dependerá, entonces, de las características del problema que se desea abordar y de las estrategias a implementar para mejorar la exactitud de las predicciones.

La estimación de calidad sobre agua almacenada es poco frecuente, sin embargo, estar en capacidad de conocer y cuantificar los tiempos en los que un cuerpo de agua puede permanecer en condiciones deseadas representa una ventaja para los procesos que manejan este tipo de depósitos.

En la investigación se encuentran aspectos comunes que podrían constituir una metodología en el proceso de predicción y que se convierten, además, en tópicos de interés. La medición y el tratamiento de datos, las fases de entrenamiento, pruebas, validación y ajuste son algunas de las etapas que se identifican. Por otra parte, los valores de correlación muestran el grado de relación entre parámetros y ayuda a determinar el conjunto de variables de entrada que brinden mejores resultados. En la validación, es posible utilizar diferentes medidas de exactitud, no obstante, el coeficiente de determinación es un factor válido para determinar el buen ajuste entre los valores reales y estimados.

REFERENCIAS

- [1] D. García, "La crisis del agua, pasado y presente: Memorias de Foro", *Let. con Cienc. tecnológica*, pp. 64-73, 2018.
- [2] A. Nazemi y K. Madani, "Urban water security: emerging discussion and remaining challenges", *Sustainable Cities and Society*, vol. 41. pp. 925-928, 2018, doi: 10.1016/j.scs.2017.09.011
- [3] A. Gómez-Gutiérrez, M. J. Miralles, I. Corbella, S. García, S. Navarro y X. Llebaria, "La calidad sanitaria del agua de consumo", *Gaceta Sanitaria*, vol. 30. pp. 63-68, 2016, doi: 10.1016/j.gaceta.2016.04.012
- [4] WHO, *Safer water, better health*. World Health Organization, 2019.
- [5] E. Terneus-Jácome y P. Yáñez, "Principios Fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador", *La Granja Rev. Ciencias la Vida*, vol. 27, n.º 1, pp. 36-50, 2018, doi: 10.17163/lgr.n27.2018.03
- [6] B. M. Brentan, E. Luvizotto, M. Herrera, J. Izquierdo y R. Pérez-García, "Hybrid regression model for near real-time urban water demand forecasting", *J. Comput. Appl. Math.*, vol. 309, pp. 532-541, 2017, doi: 10.1016/j.cam.2016.02.009
- [7] R. Cruz Guerrero, M. Alonso Lavernia y A. Franco Árcaga, "Hybrid predictive model and recommendations with techniques of data mining and artificial intelligence", *Program. Matemática y Softw.*, vol. 9, n.º 3, 2017, pp. 18-24.

- [8] I. N. Gómez Miranda y G. A. Peñuela Mesa, "Revisión de los métodos estadísticos multivariados usados en el análisis de calidad de aguas," *Mutis*, vol. 6, n.º 1, 2016, pp. 54-63.
- [9] E. Núñez, E. W. Steyerberg y J. Núñez, "Regression Modeling Strategies", *Rev. Española Cardiol. (English Ed.)*, vol. 64, n.º 6, pp. 501-507, 2011. doi: 10.1016/j.rec.2011.01.017
- [10] I. D. López, A. Figueroa y J. C. Corrales, "Un mapeo sistemático sobre predicción de calidad del agua mediante técnicas de inteligencia computacional", *Rev. Ing. Univ. Medellín*, vol. 15, n.º 28, 2016. pp. 35-52.
- [11] G. Urrútia y X. Bonfill, "Declaración Prisma: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis", *Med. Clin. (Barc.)*, vol. 135, n.º 11, 2010. pp. 507-511.
- [12] S. P. Gorde y M. V. Jadhav, "Assessment of water quality parameters : a review", *Int. J. Eng. Res. Appl.*, vol. 3, n.º 6, 2013, pp. 2029-2035.
- [13] M. Castro, J. Almeida, J. Ferrer y D. Diaz, "Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global," *Ing. Solidar.*, vol. 9, n.º 17, 2015, doi: 10.16925/in.v9i17.811
- [14] Y.-F. Kao, R. Venkatachalam, Y.-F. Kao y R. Venkatachalam, "Human and machine learning," *Comput. Econ.*, 2018. pp. 1-21, doi: 10.1007/s10614-018-9803-z
- [15] G. Luo, "A review of automatic selection methods for machine learning algorithms and hyper-parameter values", *Netw. Model. Anal. Heal. Informatics Bioinforma.*, vol. 5, n.º 1, 2016, p. 18. doi: 10.1007/s13721-016-0125-6
- [16] H. S. Dhiman, D. Deb y V. E. Balas, "Supervised machine learning models based on support vector regression", en *Supervised Machine Learning in Wind Forecasting and Ramp Event Prediction*, Elsevier, 2020, pp. 41-60.
- [17] S. Günnemann, "Machine Learning Meets Databases", *Datenbank Spektrum*, vol. 17, 2017, pp. 77-83. doi: 10.1007/s13222-017-0247-8
- [18] D. N. Sotiropoulos y G. A. Tsihrintzis, *Machine learning paradigms. Artificial immune systems and their applications in software personalization*. 2016.
- [19] Y. Liu, Y. Liang, S. Liu, D. S. Rosenblum, Y. y Zheng, S., "Predicting urban water quality with ubiquitous data," *arXiv Prepr. arXiv1610.09462*, 2016.
- [20] N. O. Al-Musawi y F. M. Al-Rubaie, "Prediction and assessment of water quality index using neural network model and gis case study: Tigris River in Baghdad City," *Appl. Res. J.*, vol. 3, n.º 11, 2017, pp. 343-353.
- [21] M. RadFard *et al.*, "Protocol for the estimation of drinking water quality index (DWQI) in water resources: Artificial neural network (ANFIS) and Arc-Gis", *MethodsX*, vol. 6, 2019, pp. 1021-1029. doi: 10.1016/j.mex.2019.04.027
- [22] I. won Seo, S. H. Yun y S. Y. Choi, "Forecasting Water Quality Parameters by ANN Model Using Pre-processing Technique at the Downstream of Cheongpyeong Dam", *Procedia Eng.*, vol. 154, 2016, pp. 1110-1115. doi: 10.1016/j.proeng.2016.07.519
- [23] A. Azad, H. Karami, S. Farzin, S.-F. Mousavi y O. Kisi, "Modeling river water quality parameters using modified adaptive neuro fuzzy inference system", *Water Sci. Eng.*, vol. 12, n.º 1, 2019, pp. 45-54. doi: 10.1016/j.wse.2018.11.001

- [24] G. K. Kang, J. Z. Gao y G. Xie, "Data-driven Water Quality Analysis and Prediction: A Survey," 2017, doi: 10.1109/BigDataService.2017.40
- [25] J.-S. Chou, C.-C. Ho y H.-S. Hoang, "Determining quality of water in reservoir using machine learning", *Ecol. Inform.*, vol. 44, 2018, pp. 57-75. doi: 10.1016/j.ecoinf.2018.01.005
- [26] S. Hussein Ewaid, S. Ali Abed y S. A. Kadhum, "Predicting the Tigris River water quality within Baghdad, Iraq by using water quality index and regression analysis", *Environ. Technol. Innov.*, vol. 11, 2018, pp. 390-398. doi: 10.1016/j.eti.2018.06.013
- [27] A. H. Haghiabi, A. H. Nasrolahi y A. Parsaie, "Water quality prediction using machine learning methods", *Water Qual. Res. J. Canada*, vol. 53, n.º 1, 2018, pp. 3-13. doi: 10.2166/wqrj.2018.025
- [28] S. Zhu y S. Heddham, "Prediction of dissolved oxygen in urban rivers at the Three Gorges Reservoir, China: extreme learning machines (ELM) versus artificial neural network (ANN)", *Water Qual. Res. J.*, 2019, doi: 10.2166/wqrj.2019.053
- [29] X. Wang, F. Zhang y J. Ding, "Evaluation of water quality based on a machine learning algorithm and water quality index for the Ebinur Lake Watershed, China", *Sci. Rep.*, vol. 7, n.º 1, 2017. doi: 10.1038/s41598-017-12853-y
- [30] B. Khaled, A. Abdallah, D. Nouredine, S. Heddham y A. Sabeha, "Modelling of biochemical oxygen demand from limited water quality variable by anfis using two partition methods," *Water Qual. Res. J. Canada*, vol. 53, n.º 1, 2018, pp. 24–40. doi: 10.2166/wqrj.2017.015.
- [31] Z. Chen, X. Ye, and P. Huang, "Estimating Carbon Dioxide (CO₂) Emissions from Reservoirs Using Artificial Neural Networks," *Water*, vol. 10, n.º 1, 2018, p. 26. doi: 10.3390/w10010026.
- [32] F. Granata, S. Papirio, G. Esposito, R. Gargano y G. de Marinis, "Machine learning algorithms for the forecasting of wastewater quality indicators", *Water (Switzerland)*, vol. 9, n.º 2, 2017, pp. 1-12, doi: 10.3390/w9020105.
- [33] J. Fan *et al.*, "Predicting bio-indicators of aquatic ecosystems using the support vector machine model in the Taizi River, China", *Sustain.*, vol. 9, n.º 6, 2017, pp. 1-11, doi: 10.3390/su9060892
- [34] H. Mohammed, A. Longva y R. Seidu, "Predictive analysis of microbial water quality using machine-learning algorithms", *Environ. Res. Eng. Manag.*, vol. 74, n.º 1, 2018, pp. 7–20.
- [35] P. Harrington, *Machine Learning in Action*. Manning Publications Co., 2012.
- [36] I. Duerr *et al.*, "Forecasting urban household water demand with statistical and machine learning methods using large space-time data: a comparative study", *Environ. Model. Softw.*, vol. 102, 2018, pp. 29-38, doi: 10.1016/j.envsoft.2018.01.002
- [37] J. M. Hunter *et al.*, "Framework for developing hybrid process-driven, artificial neural network and regression models for salinity prediction in river systems", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 22, n.º 5, 2018, pp. 2987-3006, doi: 10.5194/hess-22-2987-2018
- [38] C. M. Chew, M. K. Aroua y M. A. Hussain, "A practical hybrid modelling approach for the prediction of potential fouling parameters in ultrafiltration membrane water treatment plant", *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 45, pp. 145-155, 2017, doi: 10.1016/j.jiec.2016.09.017
- [39] S. Liu, H. Tai, Q. Ding, D. Li, L. Xu y Y. Wei, "A hybrid approach of support vector regression with genetic algorithm optimization for aquaculture water quality prediction", *Math. Comput. Model.*, vol. 58, 2013, pp. 458-465,. doi: 10.1016/j.mcm.2011.11.021

- [40] A. Solgi, A. Pourhaghi, R. Bahmani y H. Zarei, "Improving SVR and ANFIS performance using wavelet transform and PCA algorithm for modeling and predicting biochemical oxygen demand (BOD)", *Ecohydrol. Hydrobiol.*, vol. 17, n.º 2, 2017, pp. 164-175, doi: 10.1016/j.ecohyd.2017.02.002
- [41] A. Anele *et al.*, "Overview, comparative assessment and recommendations of forecasting models for short-term water demand prediction", *Water*, vol. 9, n.º 11, 2017, p. 887, doi: 10.3390/w9110887
- [42] N. Sánchez Anzola, "Máquinas de soporte vectorial y redes neuronales artificiales en la predicción del movimiento USD/COP spot intradiario", *Odeon*, n.º 9, 2016, p. 113, doi: 10.18601/17941113.n9.04
- [43] M. Sakizadeh, "Artificial intelligence for the prediction of water quality index in groundwater systems", *Model. Earth Syst. Environ.*, vol. 2, n.º 1, 2016, p. 8. doi: 10.1007/s40808-015-0063-9
- [44] G. Carvajal, D. J. Roser, S. A. Sisson, A. Keegan y S. J. Khan, "Bayesian belief network modelling of chlorine disinfection for human pathogenic viruses in municipal wastewater", *Water Res.*, vol. 109, 2017, pp. 144–154, doi: 10.1016/j.watres.2016.11.008.
- [45] Z. M. Yaseen *et al.*, "Hybrid adaptive neuro-fuzzy models for water quality index estimation", *Water Resour. Manag.*, vol. 32, n.º 7, 2018, pp. 2227–2245,. doi: 10.1007/s11269-018-1915-7.
- [46] A. H. Divya and P. A. Solomon, "Effects of Some Water Quality Parameters Especially Total Coliform and Fecal Coliform in Surface Water of Chalakudy River," *Procedia Technol.*, vol. 24, 2016, pp. 631–638,. doi: 10.1016/j.protcy.2016.05.151.
- [47] G. A. H. Sallam and E. A. Elsayed, "Estimating relations between temperature, relative humidity as independent variables and selected water quality parameters in Lake Manzala, Egypt," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 9, n.º 1, 2018, pp. 1–14,. doi: 10.1016/j.asej.2015.10.002.
- [48] M. Hino, E. Benami, and N. Brooks, "Machine learning for environmental monitoring," *Nat. Sustain.*, vol. 1, n.º 10, 2018, pp. 583-588, doi: 10.1038/s41893-018-0142-9.
- [49] D. S. Manu y A. K. Thalla, "Artificial intelligence models for predicting the performance of biological wastewater treatment plant in the removal of Kjeldahl Nitrogen from wastewater", *Appl. Water Sci.*, vol. 7, n.º 7, 2017, pp. 3783-3791, doi: 10.1007/s13201-017-0526-4
- [50] X. Xin, K. Li, B. Finlayson y W. Yin, "Evaluation, prediction, and protection of water quality in Danjiangkou Reservoir, China", *Water Sci. Eng.*, vol. 8, n.º 1, 2015, pp. 30-39, doi: 10.1016/j.wse.2014.11.001
- [51] D. P. C. Peters, K. M. Havstad, J. Cushing, C. Tweedie, O. Fuentes y N. Villanueva-Rosales, "Harnessing the power of big data: infusing the scientific method with machine learning to transform ecology", *Ecosphere*, vol. 5, n.º 6, 2014, doi: 10.1890/ES13-00359.1

Nuevas tendencias para una logística sostenible con el medio ambiente¹

New trends for environmentally sustainable logistics

Hugo Hernández Palma²
Remedios Pitre Redondo³
Norma Sánchez Martínez⁴

DOI: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.28.6270>

RESUMEN

Para tratar los efectos de la actual problemática mundial en referencia al cuidado del medio ambiente, se han establecido políticas e iniciativas dirigidas a revertir estas consecuencias, a través de la reducción de la contaminación y la protección de los recursos naturales, con el fin de lograr una eficiencia económica y ecológica. Por tanto, se estimó relevante analizar los estándares que implementan las entidades oficiales y las empresas privadas, a nivel mundial, para el cuidado del medio ambiente, así como las prácticas corporativas integradas en el proceso logístico con miras a mitigar los impactos negativos de las industrias al ecosistema y así propender a una economía sostenible. En este propósito se empleó una revisión documental, con base en una metodología de tipo cualitativo, descriptivo, que permitió esbozar las principales características de las prácticas más comunes aplicadas en el ámbito de los procesos logísticos.

Palabras clave: Nuevas tendencias; Logística; Medio ambiente; Producción limpia; Sostenibilidad.

ABSTRACT

In order to deal with the effects of the current world problem, in reference to the care of the environment, policies and initiatives have been established to revert these consequences, through the reduction of pollution and protection of natural resources in order to achieve economic and ecological efficiency. Therefore, it was considered relevant to analyze the standards that are being implemented by official entities and private companies, worldwide, for the care of the environment, and corporate practices integrated into the logistical process to mitigate the negative impacts of industries to the ecosystem and thus promote a sustainable economy. For this purpose, a documentary review was used, based on a qualitative, descriptive methodology, which allowed outlining the main characteristics of the most common practices applied in the field of logistics processes.

Keywords: New trends; Logistics; Environment; Clean production; Sustainability



Como citar este artículo: H. Hernández Palma, R. Pitre Redondo y N. Sánchez Martínez, Nuevas tendencias para una logística sostenible con el medio ambiente, *ingeniare*, vol. 2, n.º 28, jun. 2020.

1 Organizaciones Sostenibles-Tamskal-Creciendo.

2 Ingeniero industrial, Especialista en Diseño y Evaluación de Proyectos, Magíster en Sistema de Gestión, docente del Programa de Administración de Empresas, Universidad del Atlántico, Colombia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3873-0530>. Correo: hugogherandezpalma@gmail.com

3 Economista, Magíster Empresas Sociales, Doctora en Ciencia Gerenciales, Facultad Ciencia Sociales y Humanas, Universidad de La Guajira, Colombia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7373-1101>. Correo: rpitre@uniguajira.edu.co

4 Trabajo social, Magíster en Gerencia de Proyectos de Investigación y Desarrollo, ORCID: <http://cid.org/0000-0001-8216-0195N>. Correo: msanchez@uniguajira.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

Sin duda alguna, los clientes son más exigentes hoy acerca de los productos o servicios que consumen; asimismo, la globalización de la economía y la era de la información y la tecnología imponen estándares cada vez más altos a las organizaciones [1], [2]. Uno de los requerimientos hechos a las compañías, y que les concede alta valoración, es el cumplimiento de iniciativas de responsabilidad ambiental corporativa, atributo considerado de gran importancia para los clientes. De este modo, el hecho de que las empresas adquieran compromiso frente al impacto de sus acciones en el entorno ecológico y el uso de los recursos naturales no es un valor agregado, sino un componente vital [3], [4], [5].

De igual manera, resulta relevante tener en cuenta que la sociedad cada vez dispone de mayor cantidad de productos para su consumo, generando así una mayor cantidad de desechos, por lo cual las organizaciones deben considerar la huella ambiental generada por el ciclo de vida de sus productos y servicios, así como en todos sus procesos productivos y logísticos [6], [7]. En relación con lo anterior, y si se tiene en cuenta que todas las actividades del ciclo logístico (suministro, fabricación, distribución) producen efectos negativos sobre el medio ambiente [8], es necesario realizar un cambio y trabajar responsablemente sobre estos impactos para minimizarlos y reducirlos [9], [10]. En virtud de esto, las organizaciones, revisan detenidamente los procesos logísticos de su operación con el fin de adecuarlos a la dinámica mundial de sostenibilidad y desarrollar una relación amigable con el medio ambiente [11], [12]. Es así como una logística verde debe desarrollarse en colaboración con los proveedores, el uso de buenas prácticas de producción más limpias y una planeación adecuada para la disposición final de los productos que han culminado con su ciclo de vida [13], [14].

Con base en lo mencionado, resulta de gran relevancia elaborar una revisión de las prácticas que en la actualidad desarrollan las entidades oficiales y las empresas privadas, a nivel mundial, en relación con el cuidado del medio ambiente y, de esta manera, aquellas vinculadas con el ejercicio de los procesos logísticos, con miras a la minimización de impacto negativo en el ecosistema y, por ende, la búsqueda permanente de una economía sostenible.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del presente documento de reflexión se aplicó una metodología de orden cualitativo, a partir de la aplicación de un enfoque descriptivo que permitió analizar el fenómeno observado en conjunto con los criterios de los autores para la aproximación de los temas de interés [15]. Para esto se empleó una revisión de la literatura relacionada con el tema de estudio [16], de los años recientes, indexada en las principales bases de datos científicas como, por ejemplo, Elsevier, Scielo, Springer y Dialnet, entre otras, con parámetros de búsqueda tales como logística, desarrollo sostenible, responsabilidad social y otros similares, tanto en inglés como en español.

La información recopilada se analiza bajo un enfoque cualitativo que permite su interpretación mediante procedimientos como la observación, la percepción y las reflexiones del observador [17]; en conjunto, con un enfoque descriptivo que facilita la comprensión del fenómeno sin necesidad de establecer sus causas o consecuencias [18], [19].

3. INICIATIVAS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

El compromiso de la organización de medir los impactos de su accionar en su área de influencia, no solo en lo referente a la economía, sino también en el aspecto social y ambiental, ha permitido el desarrollo de prácticas corporativas para el desarrollo sostenible [20], entre las cuales se encuentran [21] la responsabilidad social empresarial y las funciones empresariales más específicas como el *marketing* verde, la producción limpia, la logística inversa, etc. [22].

La responsabilidad social empresarial puede entenderse como un grupo de prácticas que se encaminan a mejorar el nivel de satisfacciones sociales de los individuos que se relacionen directa o indirectamente con la organización [23]. De este modo, la RSE expresa un avance significativo de la sapiencia del ser humano con relación a la cultura organizacional, de modo que este mismo cobra un protagonismo particular y amplio que articula a varios participantes [24].

Cada una de las partes citadas ha generado propuestas sostenibles que, en esencia, se han dado a conocer como iniciativas de sostenibilidad y cuidado del medio ambiente, desarrolladas por las organizaciones en respuesta a su responsabilidad social, las cuales se revisan a continuación [25].

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 *Marketing* verde

Se describe como una nueva dinámica del *marketing* que da respuesta a un compromiso social y ambiental de la organización [26], la cual se desarrolla a partir de la aparición de un nuevo nivel de conciencia ambiental, hasta radicar en el proceso de toma de decisiones en lo que se relaciona con los consumos que tengan un peso de sostenibilidad, tal como lo plantean Novillo *et al.* [27]. Según la propuesta del profesor Ken Peattie, la evolución del *marketing* se ha presentado en tres fases, como se cita en Cisneros y Cisneros [28]:

1. *Marketing verde ecológico*. Agrupa las actividades encaminadas a los problemas del medio ambiente.
2. *Marketing verde ambiental*. Se enfoca en el desarrollo de nuevas tecnologías ecológicas.
3. *Marketing verde sostenible*. Se enfoca en la sostenibilidad desde las etapas de producción.

De acuerdo con lo anterior, Monteiro *et al.* establecen los puntos más característicos del *marketing* verde [29], los cuales se exponen en la figura 1.



Figura 1. Características principales del marketing verde

Fuente: elaboración propia con base en [29].

Es decir, con base en la imagen previa, el *marketing* verde se debe identificar por ofrecer alternativas accesibles y fáciles de interpretar; el asocio al comercio detallista, a la tecnología, la sociedad y la ecología; la presentación de productos creativos que contribuyan a estilos de vida novedosos; la incorporación de aspectos culturales que llamen a una mejor receptividad de los productos verdes; la incorporación de conceptos de educación y participación para lograr un mayor flujo de información [30]; [31].

4.2 Logística inversa

Durante el análisis del impacto ambiental y socioeconómico de sus acciones, las organizaciones dedican especial atención al tema de la recuperación y el aprovechamiento de los residuos [32]; lo anterior, si se tienen en cuenta que son el resultado final dentro de la cadena logística empresarial, por lo cual adquirió el nombre de logística inversa, ya que se encarga únicamente del proceso de retorno de los diversos residuos que pueden llegar a producir las organizaciones por medio del modelo denominado 3-R (reciclaje, reutilización o remanufactura) [33].

De acuerdo con lo expuesto por Montoya *et al.* [34], la logística inversa se relaciona con la RSE desde el despliegue de estrategias alrededor de seis ejes de acción: el medio ambiente, la seguridad, los códigos y las normas, la responsabilidad financiera, los derechos humanos y la ética, y la comunidad.

De esta manera, esta función se desarrolla en virtud del concepto de la responsabilidad extendida al productor (REP), el cual, según lo anunciado por el Ministerio de Medio Ambiente de Suecia, se considera un principio que busca la promoción de las mejoras del ambiente para ciclos de vida completos de los mismos productos, a través de una extensión de las responsabilidades de quienes se encargan de la fabricación a varias fases del ciclo total de su vida útil, enfocándose de manera más específica en su recuperación, reciclaje y disposición final [35]. Debido a lo anterior, en la figura 2 se observa la incorporación de la logística inversa en la planeación de las organizaciones.

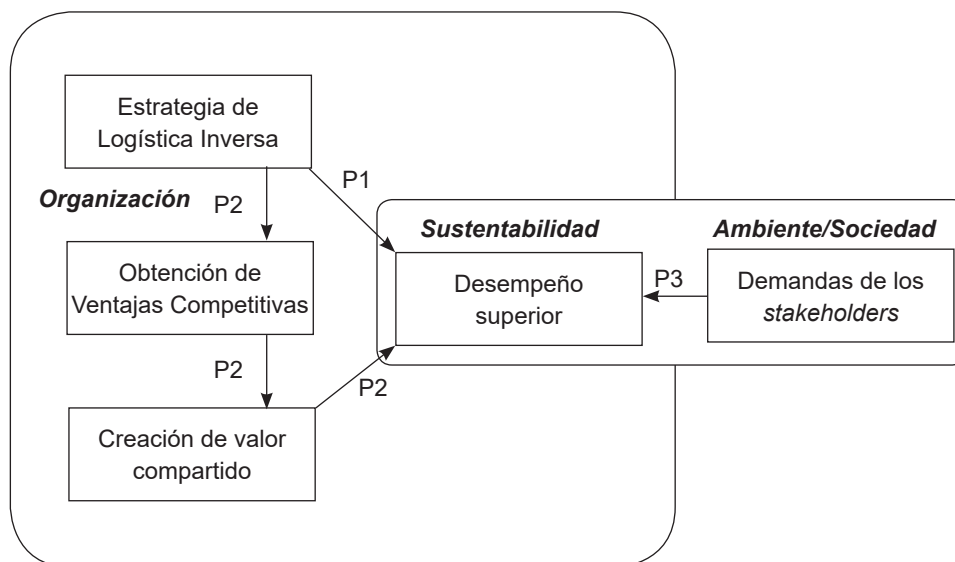


Figura 2. La logística inversa y su participación en la organización

Fuente: elaboración propia con base en [36].

4.3 Producción limpia

Según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente [37], la producción limpia consiste en la aplicación continua de una estrategia integrada de prevención ambiental en los procesos, los productos y los servicios, con el fin de minimizar los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente; esto en busca de alcanzar niveles de competitividad de la empresa para garantizar la viabilidad económica [38]. Esta dinámica trabaja el ahorro de materias primas, agua y energía, la eliminación, la reducción y la sustitución de material peligroso, así como la reducción de la cantidad y peligrosidad de los residuos y emisiones contaminantes [39]. En la tabla 1 se observa la evolución de las prácticas de responsabilidad social en Chile, Colombia y Ecuador.

Tabla 1. Países latinoamericanos frente a la responsabilidad social

Variables	Países latinoamericanos participantes en el análisis		
	Chile	Colombia	Ecuador
Estado de la RSE	La RSE se asocia con calidad de vida de los colaboradores. Es uno de los países líderes en la región.	La RSE está asociada con la filantropía tradicional.	La RSE no es un tema universal, solo se han presentado casos aislados de su aplicación
¿A qué se debe la implementación de la RSE?	Requerimientos de mercados internacionales, consumidores extranjeros y presiones sociales.	La RSE está posicionada en la agenda de gobierno por la privatización. Por exigencias de mercados internacionales.	Requerimientos de mercados internacionales y la globalización.
Participación en debates de ISO 26000	13,30 % con cincuenta participantes	7,71 % con veintinueve participantes	1,60 % con seis participantes
Posición de los stakeholders	Las ONG, los consumidores y los trabajadores tienen gran representación frente a materia de RSE, mientras que el Gobierno se presenta como el grupo más débil.	Las ONG y el Gobierno tienen gran representación en el RSE, mientras que el grupo de consumidores y trabajadores tienen posiciones débiles.	El Estado frente a la RSE es frágil, los consumidores y los colaboradores no están organizados.

Fuente: elaboración propia con base en Alves et al. [40].

4.4 Normatividad internacional

En el panorama internacional se encuentran en proyección y gran acogida normas como, por ejemplo, la ISO 26000, la cual se considera un estándar o iniciativa que está en tendencia de implementación a nivel mundial para el aseguramiento de las buenas prácticas en la gestión organizacional [41], [42]. Estas normas son una guía para desarrollar un modelo de responsabilidad de prácticas laborales, el medio ambiente, las prácticas justas de operación, los asuntos de consumidores, la participación activa y el desarrollo de la comunidad, lo que incorpora de manera formal el componente logístico [43], [44]. En la figura 3 se presentan los principios de la responsabilidad social de la norma ISO 26000, los cuales deben ser incluidos en las prácticas logísticas corporativas.

**Figura 3. Principios de RSE**

Fuente: elaboración propia con base en [45].

Otra de las normas en vigencia es la ISO 14000, la cual se fundamenta con el objetivo de insertar un sistema de gestión ambiental que le exija a los directivos y empleados de las compañías pensar conscientemente en el tipo de medio ambiente que quieren tener, preparando a las empresas para cualquier inspección, ya que cada vez se les exige mucho más a estas que informen acerca del impacto que generan sus productos en el entorno [46].

De esta manera, al abordar el análisis de los resultados del presente estudio se logra observar que la logística sostenible es una tendencia sumamente relevante en los últimos tiempos [47], pues permite alinear de manera coherente el accionar de las organizaciones hacia las necesidades ambientales [48]. Ciertamente, las nuevas realidades que se enfrentan a nivel ambiental a causa del alto impacto del estilo de vida del hombre sobre el planeta tierra [49] llevan a que tanto los gobiernos como las organizaciones tomen conciencia sobre los métodos y procesos que llevan a cabo, y den así paso a un ciclo constante de localización de fallos e innovación hacia el logro de una mejora continua [50].

5. CONCLUSIONES

En la actualidad, la responsabilidad social y ambiental es un factor determinante en el desempeño económico de cualquier organización que permite obtener ventajas competitivas que garantizan su participación en los mercados internacionales. Por todo lo expuesto y las grandes transformaciones de los sistemas productivos, la logística ha cobrado un protagonismo verde o sostenible que se orienta a cambiar las prácticas actuales por acciones articuladas con el entorno, generando así un compromiso más dinámico y enfocado en la situación del medio ambiente, el buen uso y la recuperación de los recursos naturales.

Las teorías asociadas a la responsabilidad social empresarial, *marketing* verde, productividad y compromiso organizacional han decretado una serie de lineamientos que se alinean en consonancia con los estándares y las normas de regularización de calidad a nivel internacional [51], lo que permite echar mano de herramientas renovadas para hacer del proceso logístico un componente activo y sostenible, en consideración a los requerimientos de los entornos productivos. No obstante, el direccionamiento estratégico debe vincular dichas orientaciones para lograr la evolución del proceso logístico y dar así un paso obligado en la era de la globalización y la sostenibilidad.

REFERENCIAS

- [1] K. Jerez, V. Argüelles, A. Máynez y M. Portillo, "Logística inversa y sustentabilidad: revisión de literatura," *CULCyT*, vol. 555.
- [2] C. Rodríguez y B. Andrés, *Diseño de distribución CROSS-DOCKING para alimentación escolar en colegios privados de Vía a la Costa*. Universidad de Guayaquil, 2017.

- [3] L. Fernández y M. Gutiérrez, “Bienestar social, económico y ambiental para las presentes y futuras generaciones”, *Información tecnológica*, vol. 24, n.º 2, pp. 121-130, 2013.
- [4] J. Bonilla, “Política extraccionista de hidrocarburos en Colombia y Ecuador: crítica desde el análisis del posdesarrollo”, *Análisis Político*, vol. 28, n.º 83, pp. 32-43, 2018.
- [5] G. Aguilar, “Las deficiencias de la fórmula derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación en la constitución chilena y algunas propuestas para su revisión”, *Estudios constitucionales*, vol. 14, n.º 2, pp. 365-416, 2016.
- [6] M. Finkbeiner, “Product environmental footprint-breakthrough or breakdown for policy implementation of life cycle assessment?”, *Int J Life Cycle Assess*, vol. 19, pp. 266-271, 2014.
- [7] A. M. B. J. B. L. Boulay, M. Berger, M. Lathuilière, A. Manzardo y B. Ridoutt, *The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining*. 2018.
- [8] M. Meana, P. Moreno y I. Quesada, “Definición de un modelo de desarrollo y gestión de un parque empresarial de logística inversa en España”, *Dyna*, vol. 80, n.º 179, pp. 14-22, 2013.
- [9] M. Feitó, R. Cespón y M. Rubio, “Modelos de optimización para el diseño sostenible de cadenas de suministros de reciclaje de múltiples productos”, *Revista Chilena de Ingeniería*, vol. 24, n.º 1, pp. 135-148, 2016.
- [10] M. Valderrama, P. César, H. Gracia y L. Rodríguez, “La gestión para cadena de suministro de sistemas de energía solar fotovoltaica en Colombia y su situación actual”, *Revista Avances: Investigación en Ingeniería*, vol. 15, n.º 1, 2018.
- [11] M. Alborno, “La biotecnología y su paradoja del buen vivir”, *Universitas Humanística*, vol. 76, pp. 235-251, 2013.
- [12] C. Bermeo y F. Escudero, “Determinantes de la innovación sustentable de las empresas ecuatorianas”, *Yachana Revista Científica*, vol. 5, n.º 2, 2017.
- [13] A. Jaimurzina, G. Pérez y R. Sánchez, “Políticas de logística y movilidad para el desarrollo sostenible y la integración regional”, *Repositorio Digital Cepal*, 2015.
- [14] J. Sánchez, M. González-Illescas y L. Fuentes, “La logística inversa como estrategia de diferenciación para los mercados dinámicos”, *Innova Research Journal*, vol. 5, n.º 2, pp. 140-156, 2020.
- [15] S. Taylor, R. Bogdan y DeVault, *Introduction to qualitative research methods: a guidebook and resource*. Nueva Jersey: John Wiley & Sons, 2015.
- [16] L. Del Canto y A. Silva, “Metodología cuantitativa: abordaje desde la complementariedad en ciencias sociales”, *Revista de Ciencias Sociales*, vol. 141, 2013.
- [17] M. Bengtsson, “How to plan and perform a qualitative study using content analysis”, *NursingPlus Open*, vol. 2, pp. 8-14, 2016.
- [18] A. Håkansson, “Portal of research methods and methodologies for research projects and degree projects”, de *The 2013 World Congress in Computer Science, Computer Engineering, and Applied Computing WORLDCOMP 2013*, Las Vegas, 2013.
- [19] M. Masrek, A. Jamaludin y S. Mukhtar, “Evaluating academic library portal effectiveness”, *Library Review*, 2010.

- [20] G. Cabaleiro, A. Jiménez, J. Miles y R. Horta, "Liderazgo e Innovación para un mundo más sostenible," *Journal of Technology management & innovation*, vol. 11, n° 1, pp. 2-5, 2016.
- [21] B. Cañizares, "Responsabilidad social empresarial y cuestión social": aportes críticos en base a un relato de caso", *Temas y Debates*, vol. 39, pp. 99-108, 2016.
- [22] I. Mendoza, *Evaluación de la responsabilidad social de las empresas exportadoras del Ecuador*. 2017.
- [23] N. Ortiz, "Responsabilidad social empresarial como expresión de avance del conocimiento del hombre desde la cultura organizacional", *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, , vol. 9, n° 16, pp. 121-131, 2013.
- [24] E. Jaramillo y A. Pineda, "Aproximaciones teóricas a la relación entre responsabilidad social empresarial y competitividad. Trayectos iniciales", *Revista Páginas*, vol. 96, pp. 39-52, 2014.
- [25] A. Vilches y D. Gil-Pérez, "La ciencia de la sostenibilidad: una necesaria revolución científica", *Ciência & Educação (Bauru)*, vol. 22, n.º 1, pp. 1-6, 2016.
- [26] J. Zavala y F. Ysea, "Marketing verde en la conformación de una ciudadanía planetaria en el ámbito educativo latinoamericano", *Revista San Gregorio*, vol. 31, pp. 150-161, 2019.
- [27] L. Novillo, M. J. Pérez y J. Carlos, "Marketing verde, ¿tendencia o moda?", *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 10, n° 2, pp. 100-105, 2018.
- [28] T. Cisneros y J. Cisneros, "¿Cabría un desmarketing a la concepción del marketing verde actual? Una crítica a la teoría y la práctica del marketing verde", *Yachana Revista Científica*, vol. 3, n.º 1, 2014.
- [29] T. Monteiro, A. Giuliani, J. Cavazos-Arroyo y N. Pizzinatto, "Mezcla del marketing verde: una perspectiva teórica", *Cuadernos del CIMBAGE*, vol. 1, n.º 17, pp. 103-126, 2015.
- [30] N. Moreno, "Las comunicaciones integradas de marketing (CIM) como pilar de la estrategia de marketing verde y sus implicaciones en la gestión ambiental", *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, vol. 20, n.º 2, pp. 69-79, 2012.
- [31] N. Acuña, L. Figueroa y M. Wilches, "Influencia de los sistemas de gestión ambiental ISO 14001 en las organizaciones: caso estudio empresas manufactureras de Barranquilla", *Revista chilena de Ingeniería*, vol. 25, n.º 1, pp. 143-153, 2017.
- [32] E. Betanzo, M. Torres, J. Romero y S. Obregón, "Evaluación de rutas de recolección de residuos sólidos urbanos con apoyo de dispositivos de rastreo satelital: análisis e implicaciones", *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 32, n.º 3, pp. 323-337, 2016.
- [33] M. Florian y J. Alexander, *Logística inversa, aplicada al manejo de residuos plásticos, como aporte estratégico del marketing verde*. Universidad Militar Nueva Granada, 2016.
- [34] R. Montoya, A. Espinal y L. Herrera, "Logística inversa, un enfoque con responsabilidad social empresarial", *Criterio libre*, vol. 10, n.º 16, pp. 143-158, 2012.
- [35] M. Rosado, "Propuestas de prácticas sustentables en la Industria vitivinícola de Baja California, México", tesis de maestría, Col. Front. Nor., 2016.
- [36] C. Noe, "Relación entre logística inversa y desempeño. Estudio de casos en Córdoba, Argentina", *Cuadernos de Administración*, vol. 31, n.º 53, 2015.

- [37] Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, *Manual de producción más limpia*. 2016.
- [38] M. Izurieta, *Análisis del proceso de exportación de banano de la empresa Jasafrut SA en la ciudad de El Guabo provincia de El Oro*. Universidad Técnica de Machala, 2015.
- [39] S. Suárez y E. Molina, "El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente", *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, vol. 52, n.º 3, pp. 357-363, 2014.
- [40] M. Alves, E. Reficco y J. Arroyo, "Perspectivas sobre la situación y proyección de la responsabilidad social empresarial en América Latina", *Revista de Administração de Empresas*, vol. 54, n.º 1, pp. 10-11, 2014.
- [41] M. Serrano, "La responsabilidad social y la norma ISO 26000", *Revista de Formación Gerencial*, vol. 11, n.º 1, pp. 102-119, 2012.
- [42] H. Palma, R. Redondo y M. Cárdenas, "Continuous Improvement for colombian universities through innovation in information management", *Contemporary Engineering Sciences*, vol. 11, n.º 83, 2018.
- [43] W. Niebles y I. Barrios, "Reorganización del sistema logístico: una aproximación teórica", *CICAG*, vol. 13, n.º 1, pp. 148-160, 2015.
- [44] Y. Rodríguez, "Elaboración de curvas de aprendizaje, para el ajuste del ciclo logístico, en la Planta de productos químicos de la Empresa Labiofam Villa Clara", tesis doctoral, Univ. Cen. "Marta Abreu" de Las Villas, 2016.
- [45] W. Valencia, "La responsabilidad social: análisis del enfoque de ISO 26000", *Industrial Data*, vol. 18, n.º 2, pp. 55-60, 2015.
- [46] E. Guzzi, R. De Castro, T. Ansiutti, T. Luz y M. Júnior, "Logística verde: um estudo de caso sobre a viabilidade da reutilização das cinzas de caldeira industrial. Memorial TCC", *Caderno da Graduação*, vol. q, n.º q, 2016, pp. 201-217.
- [47] M. Estrada y J. Campos, "Estratègies de distribució de mercaderies per fomentar una mobilitat més sostenible", *Regió Metropolitana de Barcelona: Territori, estratègies, planejament*, vol. 59, pp. 114-128, 2017.
- [48] J. Ugarte, A. Armesto, C. Callejero, I. Carvajo, D. Chaves, C. Escobedo y J. Sagarna, *Digitalización y big data en los sectores agroalimentario y forestal y el medio rural: el reto de la sostenibilidad, mejora productiva y logística*. 2019.
- [49] R. Tzanelli, M. Korstanje y D. Strang, "Turismo, Riesgo y Cambio Climático: un camino alternativo", *Estudios y Perspectivas en Turismo*, vol. 29, n.º 1, 2020.
- [50] M. Aquino, *Optimización del procedimiento de fiscalización eficiente para la mejora continua de la recaudación en el servicio de Administración Tributaria Huamanga*. 2020.
- [51] J. G. F. y A. Viloria, "Estudio Sobre el Abastecimiento Constante de Energía Eólica", *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 3, n.º 2, 2015.

Desarrollo de un dispositivo que deseche las heces de perro sin el uso de bolsas plásticas

Development of a device that disposes dogs feces without the use of plastic bags

Julián David Sánchez Quijano¹

Alejandro Tolosa Robayo²

Ivonne Angélica Castiblanco Jiménez³

DOI: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.28.6275>

RESUMEN

La presente investigación desarrolla un dispositivo que desecha las heces de los caninos sin hacer uso de bolsas plásticas. A partir de una metodología mixta de desarrollo de producto, se determinaron las necesidades primordiales que se deben satisfacer. Se encontró que el usuario necesita un producto que facilite el desecho de las heces de perro que sea amigable con el medio ambiente, higiénico, versátil, duradero, cómodo para su uso y seguro. Con base en lo anterior se establecieron las características finales del dispositivo, las cuales son evidenciadas mediante un prototipo estético CAD que cumple con los rangos definidos en las especificaciones dictadas en la investigación, aportando así una solución al problema de desechar las heces de los perros sin hacer uso de bolsas plásticas.

Palabras clave: Desarrollo de producto; Desecho; Heces; Bolsas de plástico; Contaminación.

ABSTRACT

The present article develops a device that discards the feces of the canines without using plastic bags. Based on a mixed methodology of product development, the primary needs to be satisfied were determined, it was found that the user needs a product that facilitates the disposal of dog feces, friendly to the environment, hygienic, versatile, durable, comfortable for use and safe. Based on the above, the final characteristics of the device were established, which are evidenced by an aesthetic CAD prototype, which accomplishes the defined ranges of the specifications dictated in the research, thus providing a solution to the problem of disposing of feces from dogs without using plastic bags.

Keywords: Product development; Dispose; Feces; Plastic bags; Contamination.



Como citar este artículo: A. Tolosa Robayo, J. D. Sánchez Quijano, y I. A. Castiblanco Jimenez, «Desarrollo de un dispositivo que deseche las heces de los perros sin el uso de bolsas plasticas», *ingeniare*, vol. 2, n.º 28, jun. 2020.

¹ Ingeniería Industrial con énfasis en Gestión y Optimización de Operaciones, Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia, ORCID: 0000-0002-3289-6126. Correo: julian.sanchez-q@mail.escuelaing.edu.co

² Ingeniería Industrial con énfasis en Gestión y Optimización de Operaciones, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia, ORCID: 0000-0003-0329-3980 Correo: alejandro.tolosa@mail.escuelaing.edu.co

³ Ingeniería Electrónica, Pontificia Universidad Javeriana, Master of Science en Ingeniería Mecatrónica, Politecnico di Torino, Máster en Automatización Industrial, Politecnico di Torino, Investigadora del Ph. D. en Management, Production and Design, Politecnico di Torino, Turin, Italia, ORCID: 0000-0001-5866-078X. Correo: ivonne.castiblanco@polito.it

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de las responsabilidades que se tienen al poseer un canino como mascota se encuentra el compromiso social de recoger las heces que este realiza, debido, principalmente, a los problemas de salubridad que el excremento representa. En su mayoría, las técnicas de recolección actuales resuelven este problema con el uso de bolsas plásticas, lo que conlleva a una problemática de contaminación ambiental que promueve el plástico. En este sentido, esta investigación se enfoca en el desarrollo de un dispositivo que deseche las heces de los perros sin el uso de bolsas plásticas con el fin de disminuir el impacto negativo que estas tienen en el medio ambiente. Esta investigación se llevará a cabo a partir de una combinación de diversas metodologías de desarrollo de producto con el fin de abarcar de la mejor manera la problemática a solucionar.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Según [1], la población de mascotas ha crecido considerablemente en los últimos tiempos. Para el 2011, solo en Estados Unidos de América había cerca de setenta millones de caninos como mascotas, de los cuales solo el 53,8 % visitaba al menos una vez el médico veterinario anualmente. Esto contribuye a que los caninos no tengan una condición de salud óptima al no estar desparasitados y con las vacunas al día. La práctica de recoger y desechar los excrementos de las mascotas es de vital importancia, dado que se habla de un asunto que trabaja desde una sana convivencia y respeto por el espacio, hasta un tema de evitar riesgos en la salud. Los desperdicios generados por los caninos representan un foco de contaminación que puede generar problemas de salud pública tales como contaminación ambiental, lesiones al hacer contacto con los desperdicios y contagio de enfermedades (zoonosis).

Además, se debe resaltar que el perro es una de las mascotas más cercanas al humano y la transmisión de agentes zoonóticos se ve favorecida dada esta estrecha relación [2].

Los lugares más contaminados en una ciudad corresponden a las zonas de barrios residenciales, debido a que en estos hay una alta cantidad de perros tanto callejeros como mascotas que contaminan el suelo y el ambiente con sus heces [3].

La cantidad de heces de perro que están en el suelo varía según la zona de la ciudad, el tipo de suelo y los ingresos de las personas de la zona. En los barrios de personas de ingresos económicos bajos hay un 85,36 % más de heces en el suelo que en los barrios de personas con ingresos económicos medios [4].

Los caninos están asociados con más de sesenta enfermedades zoonóticas, entre las cuales cabe destacar la parasitosis y la helmintosis [3]. Esta problemática, unida con la falta de responsabilidad por parte de los dueños de las mascotas al no recoger las heces de los perros o disponer de forma errónea los desechos, contribuye a la creación de diferentes fuentes de patógenos en el espacio público de las

ciudades tales como parques, aceras y jardines, donde las personas, en general, corren el riesgo de ingerir o tocar suelo o pasto contaminado con las heces de estos animales [5].

Las heces de los perros, al estar un tiempo prolongado sobre el pasto, infectan el suelo con bacterias como *Escherichia coli* y *Salmonella* Spp [6]. La bacteria *Escherichia coli* es una bacteria muy diversa, cuyo genoma es altamente dinámico [7], y es uno de los causantes más frecuentes de varias infecciones bacterianas en humanos y animales. Además, es la causa principal de enteritis, infecciones del tracto urinario, septicemia y meningitis neonatal, y está asociada con la diarrea tanto en animales domésticos como en animales de granja [8]. La bacteria *Salmonella* Spp es uno de los patógenos mayormente transmitido mediante alimentos; a la fecha ha provocado 93,8 millones de enfermedades por ingesta de alimentos contaminados y 155 000 muertes por año. Además, dentro de su cuadro clínico se encuentra la fiebre tifoidea, la gastroenteritis y la bacteraemia [9].

Como se expone más adelante, la manera más usual de recoger las deposiciones fecales de los caninos por parte de los propietarios consta de usar una bolsa plástica para, finalmente, depositarla en una basura pública o domiciliaria. Sin embargo, esta práctica se suma a la problemática del aumento de residuos plásticos, dado que tales bolsas son de un solo uso y no son recicladas; de los 8300 millones de toneladas métricas de plástico que se han producido, solo el 9 % han sido reciclados y cerca de un 79 % está en vertederos o se encuentra tirado en entornos naturales como basura [10].

Actualmente, se presenta un hábito poco higiénico entre algunos dueños de mascotas caninas: recoger las heces de los perros en bolsas plásticas de polietileno y luego abandonar las bolsas en el suelo y no depositarlas en una caneca especializada para este fin. Según [6],

las bacterias que son potencialmente patógenas se aislaron de heces de perro dejadas en condiciones ambientales en bolsas de plástico [...] las heces de los perros representan un medio importante por el cual los patógenos bacterianos pueden transferirse de los perros a los humanos a través del suelo. Las heces al permanecer guardadas en bolsas plásticas experimentan un proceso de incubación bacteriano donde el número de *E. coli* y *Salmonella* Spp crece de forma abrumadora, la población de la primera bacteria mencionada al cabo de 28 días dentro de la bolsa crece en un 3866 % mientras que la población de la segunda bacteria crece en un 16 000 %.

Como se mencionó, dentro de las atenciones que se deben tener para garantizar el bienestar de las mascotas y de la comunidad, se encuentra el hecho de recoger las heces que estas realizan; específicamente para Colombia, la Ley 742 de julio 19 de 2002, en el artículo 108-D del capítulo XIII, establece:

Queda prohibido dejar las deposiciones fecales de los ejemplares caninos en las vías, parques o lugares públicos. Los propietarios o tenedores de los ejemplares caninos son responsables

de recoger convenientemente los excrementos y depositarlos en bolsas de basura domiciliaria, o bien en aquellos lugares que para tal efecto destine la autoridad municipal.

Debido al crecimiento de la población canina, se observa el impacto que conlleva el uso de plástico para el desecho de heces sobre la problemática ambiental, ya que las alternativas que se tienen actualmente para su disposición hacen uso, en su mayoría, de bolsas plásticas desechables, de modo que representa, además, problemas de salubridad debido a que son una fuente de bacterias como la *E. coli* y *Salmonella* Spp. Por tanto, se considera relevante desarrollar un mecanismo que genere nuevas alternativas para el desecho de las heces caninas. A continuación, se presentan las bases metodológicas que presiden la investigación, con el fin de desarrollar un estudio efectivo de la solución que se pretende encontrar.

3. METODOLOGÍA

Luego de determinar la problemática ambiental, de salubridad e higiene que conlleva el uso de bolsas plásticas y otros métodos tradicionales para desechar las heces de los perros, y con el objetivo de encontrar la metodología adecuada, se realizó una búsqueda literaria de diferentes autores que tratan metodologías para el desarrollo de productos. Así, se llega a la conclusión de congregar la innovación y flexibilidad del proceso de desarrollo propuesta por Brown en su metodología *design thinking* [11] y los conceptos base para la creación de concepto del producto planteados por Ulrich y Eppinger [12].

Por consiguiente, en la tabla 1 se muestran las etapas consideradas en la metodología a usar en la presente investigación, organizadas de manera cronológica de acuerdo con el orden en el que se van a desarrollar, con sus respectivos autores, una descripción y el resultado que se espera luego de culminar cada fase; por ejemplo, en la fase de empatizar e identificar las necesidades del cliente, se tendrá un primer acercamiento con los clientes objetivo mediante entrevistas y *focus group*, con el objetivo de identificar las necesidades de estos[11-12].

Tabla 1: Fases de la metodología

Fase	Autor/es	Descripción de la fase	Resultado esperado
Empatizar e identificar necesidades del cliente	Brown (2009) y Ulrich y Eppinger, (2013)	Se tendrá un primer acercamiento con los clientes objetivo mediante entrevistas y focus group.	Identificar las necesidades del cliente.
Definir el problema	Brown (2009)	Se seleccionará y filtrará la información recopilada en el paso anterior con el fin de clarificar el problema	Obtención de nuevas perspectivas del problema
Definición de especificaciones	Ulrich y Eppinger (2013)	Se realizará una primera evaluación de las necesidades filtradas con antelación y se definirán las especificaciones con los respectivos indicadores pertinentes para medir el posicionamiento en el mercado.	Definir las especificaciones del producto con base en las necesidades encontradas
Generar conceptos de producto	Ulrich y Eppinger (2013)	Se ejecutará un desglose del problema general definiendo subproblemas críticos en el desarrollo y realizar una exploración sistemática que ayude a definir diferentes conceptos de producto.	Obtención de conceptos de producto

Fase	Autor/es	Descripción de la fase	Resultado esperado
Seleccionar concepto/s de producto	Ulrich y Eppinger (2013)	Se analizarán los conceptos obtenidos anteriormente y se evaluarán de manera cualitativa y cuantitativa con respecto a las necesidades del cliente definidas.	Selección de concepto
Probar concepto/s de productos	Ulrich y Eppinger (2013)	Se participará a parte de los clientes objetivo el concepto de producto seleccionado mediante un primer prototipo.	Verificar la satisfacción de las necesidades del cliente
Fijar especificaciones finales	Ulrich y Eppinger (2013)	Se ajustarán las especificaciones pertinentes de acuerdo con el acercamiento realizado en el paso anterior.	Concepto con especificaciones finales del producto

Fuente: elaboración propia.

Una vez definidas cada una de las etapas de la metodología de la investigación, con su respectivo objetivo y resultado esperado, se prosigue a describir los resultados obtenidos en cada etapa.

3.1 Empatizar e identificar necesidades del cliente

Siguiendo la metodología planteada, se inició con la fase de “Empatizar e identificar necesidades del cliente”, en la que el objetivo principal era tener un primer acercamiento con los clientes objetivo y conocer las necesidades frente al problema base del producto a desarrollar. Se definieron, entonces, dos métodos para la recolección de información de esta fase, focus group y encuestas individuales, en las que se orientaba al usuario a comunicar las necesidades reales que encuentra a la hora de realizar la práctica de recoger las heces de sus mascotas.

La técnica de *focus group* es un formato de entrevista grupal que capitaliza la comunicación entre los participantes de la investigación con el objetivo de generar datos. A diferencia de otras formas de entrevistas grupales, los *focus group* utilizan explícitamente la interacción grupal como parte del método, aprovechando los momentos de discusión entre las partes para obtener datos [13].

Debido a que con el método de *focus group* se espera hacer una investigación cualitativa inicial, el equipo de desarrollo decidió seleccionar aleatoriamente a un grupo de doce personas que viviera en Bogotá, se encontrara entre estratos socioeconómicos 3-4 y compartiera la característica de tener caninos como mascota. Debido al fundamento del proceso y con el objetivo de generar discusión entre los participantes, este punto tuvo como objetivo una caracterización inicial de la problemática del desecho de las heces de perro, mediante diferentes preguntas que permitieron identificar las particularidades que tiene el mercado al cual va dirigido el producto. De esta manera, se obtuvieron los siguientes hallazgos: 1) existen diversas técnicas para desechar y recolectar las heces de las mascotas caninas que, en su mayoría, hacen uso de la bolsa plástica, tales como palas automáticas y manuales; 2) tener contacto con los desechos y, por consiguiente, el olor y la textura de estos, así como no poder recoger en su totalidad y, adicionalmente, cargarlos hasta la basura más cercana son las principales molestias de los encuestados a la hora de recoger los desechos; 3) los lugares con pocas canecas de basura, los parques y los jardines son los sitios en los que mayor cantidad de desechos se observan, y en las zonas en las que

no existen espacios verdes se puede observar la presencia de desechos en andenes y aceras; y 4) las características indispensables para un nuevo producto son su nivel de impacto ambiental, la portabilidad y durabilidad, su seguridad y flexibilidad.

Para las encuestas individuales, basados en la ecuación del método de muestreo simple se distinguió una muestra (A) conformada por 68 personas a quienes se les realizó una entrevista virtual que se apoyó en el principio de *design thinking*, en el cual la interacción con el usuario debe ser empática con el fin de conocer sus necesidades y trabajar en pro de ellas [14]. La entrevista se basó en seis preguntas con opción múltiple, tres basadas en escala Likert de 5 puntos con el fin de una evaluación cuantitativa y, finalmente, una pregunta abierta, para un total de diez preguntas.

Los resultados encontrados en el anterior estudio permitieron definir aquellas características necesarias en el producto y aquellas deseadas por el cliente que representan un valor adicional en este, a fin de ser consideradas dentro del análisis.

En la etapa de identificación de necesidades el usuario expresa de manera informal lo que es relevante del problema, por lo cual las expresiones del cliente deben ser parafraseadas en un lenguaje más técnico que permita, posteriormente, la transformación a especificaciones del producto; este proceso se denota como formulación correcta de la necesidad [12].

La tabla 2 es ejemplo de la formulación correcta de las algunas necesidades encontradas a partir de los comentarios y las respuestas de la muestra (A) en las preguntas clave de la encuesta; se empieza con las preguntas: ¿para usted cuáles de las siguientes características debería tener este producto?, y, ¿qué aspectos le molestan de recoger las heces de un perro?

Tabla 2. Formulación de necesidades correcta

Afirmación del cliente	Formulación correcta de la necesidad
"Que sea portátil".	El producto es portable.
"Que sea amigable con el medio ambiente".	El producto impide impacto negativo en el medio ambiente.
"Que sea fácil de usar".	El producto es fácil de usar.
"Cargar las heces recogidas hasta la basura más cercana es muy molesto".	El producto desecha las heces por sí mismo impidiendo que el usuario tenga que recogerlas.
"No poder recoger en su totalidad las heces en un solo intento me incomoda".	El producto desecha las heces en su totalidad.

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, luego de la formulación correcta de las necesidades se procede a realizar el *clustering* de las necesidades encontradas. Según [12], se define *clustering* como el proceso en el que se eliminan expresiones redundantes, se agrupan necesidades de acuerdo con su similitud y se enuncia un título que generaliza todas las necesidades del grupo. Este proceso tiene como objetivo priorizar las necesidades encontradas y realizar un primer filtro a la información seleccionada.

Con el fin de priorizar se asignó una calificación cualitativa entre 1 y 5 a cada necesidad, siendo 1 una característica no deseada y 5 una característica indispensable en el producto, a fin de establecer el peso que tiene cada una de estas en el producto. Este proceso se realizó a través de la opinión y el acuerdo entre los integrantes del grupo.

Cabe destacar que se consideraron únicamente aquellas necesidades cuya calificación cualitativa sea de 4 (característica muy pedida, pero podría considerarse la compra del producto sin ella) o de 5 (característica indispensable sin la cual no se considera comprable el producto); por tanto, se consideró la eliminación de necesidades que estuvieran por debajo de ese rango y, además, necesidades que fueran redundantes con otras o que se encontrarán implícitas dentro de una de mayor peso, con el fin de sintetizar el foco del proceso.

La tabla 3 muestra la agrupación de las necesidades encontradas en macrogrupos, el peso cualitativo apropiado según el equipo de desarrollo y el código de necesidad (Nx). Es decir, la necesidad que expresa cómo el producto cuenta con un sistema automático que no requiere de contacto del usuario se clasifica dentro de un grupo de necesidades titulado como “el producto facilita al usuario el desecho de las heces del perro”, se califica con un peso de 5 debido a que, según el grupo de desarrollo, es una característica indispensable y se le asigna el código de necesidad N1.

Tabla 3. Clustering de necesidades

Peso	Necesidad	Código necesidad
El producto facilita al usuario el desecho de las heces del perro		
5	El producto cuenta con un sistema automático que no requiere de contacto del usuario.	N1
5	El funcionamiento del producto evita que el usuario tenga que hacer esfuerzo (entendiendo como esfuerzo a todo movimiento o acción que requiera de trabajo adicional del usuario).	N2
El producto es higiénico y fácil de limpiar		
4	El producto cuenta con facilidad para hacerle la limpieza.	N3
El producto es versátil y duradero		
5	El producto desecha las heces en su totalidad.	N4
4	El producto funciona de forma correcta aun después de mucho tiempo de uso.	N5
El producto es cómodo para el usuario		
4	El producto está fabricado con materiales ligeros que lo hacen liviano.	N6
4	El producto tiene un precio asequible.	N7
5	El producto es portable.	N8
El producto es amigable con el medio ambiente		
5	El producto impide impacto negativo en el medio ambiente.	N9
El producto es seguro		
5	El producto tiene un sistema de seguridad que previene accidentes para el usuario.	N10

Fuente: elaboración propia.

Después de asignar un peso a cada una de las necesidades es posible realizar la definición del problema que expresa las prioridades funcionales del producto, objeto de estudio de la investigación.

3.2 Definición de problema

Teniendo como base los resultados obtenidos en etapas previas se prosigue con la definición del problema en el que se utilizó la herramienta de *design thinking*, llamada *point of view*, en la cual se define lo que necesita el cliente (necesidad) y por qué lo necesita (*insight*).

El usuario necesita un producto que facilite el desecho de las heces de perro, que sea amigable con el medio ambiente, higiénico, versátil, duradero, cómodo para su uso y seguro, ya que los productos que actualmente se encuentran en el mercado no cumplen en su totalidad con estas necesidades.

El equipo de desarrollo define el impacto positivo o “amigabilidad” con el medio ambiente como la cualidad de no hacer uso de plástico o cualquier otro contaminante para el desecho de las heces, sino, por otro lado, enterrarlas bajo la tierra sin hacer modificaciones al paisaje. Luego de definir correctamente el problema base del desarrollo de producto se procede a la definición de las especificaciones que garantizan la correcta satisfacción de las necesidades encontradas.

3.3 Definición de especificaciones

Con base en el problema definido es conveniente definir las especificaciones, expresadas en indicadores de medida que permiten evaluar el cumplimiento de las necesidades del cliente.

La tabla 4 muestra el indicador con su respectivo código de referencia (Ix), su unidad de medida y las necesidades que evalúa identificadas con el código de referencia Nx asignado anteriormente; es decir, el indicador que expresa el contacto con los excrementos identificado con el código I1, con unidad de medida binaria debido a que responde a una pregunta dicotómica (sí o no), evalúa la necesidad N1 que corresponde a que el producto cuenta con un sistema automático que no requiere de contacto del usuario.

Tabla 4. Indicadores

Código de indicador	Indicador (variable de productos)	Unidad	Necesidades evaluadas
I1	Contacto con los excrementos	Binario	N1
I2	Material	Elenco	N6
I3	Volumen de recolección	Cm ³	N4
I4	Ciclo de vida	Años	N5
I5	Peso	gr	N6, N8
I6	Altura	cm	N8
I7	Precio	USD (\$)	N7
I8	Generación desechos	Binario	N9

Código de indicador	Indicador (variable de productos)	Unidad	Necesidades evaluadas
I9	Reutilizable	Binario	N5
I10	Seguridad	Binario	N10
I11	Automático	Binario	N1, N2
I12	Fácil limpieza	Binario	N3

Fuente: elaboración propia.

Se define la unidad de medida Elenco como un listado de opciones en el cual se puede expresar el indicador, es decir, la variable del producto que se refiere al material puede ser de plástico, madera o vidrio.

Tras haber definido las especificaciones o los indicadores que evalúan las necesidades encontradas se procede a realizar un proceso de *benchmarking* que comete una primera comparación competitiva.

3.4 Benchmarking

Basándose en las necesidades y especificaciones consideradas, en esta etapa se realizó una evaluación comparativa entre productos que se tienen por competidores del producto de esta investigación y de aquellos productos reconocidos como líderes en la recolección y disposición de heces de perro.

Inicialmente se identificaron los principales problemas que tienen los productos que desechan las heces de los perros y que, al mismo tiempo, corresponden a las necesidades halladas en la investigación.

- El problema “Facilidad para hacer el desecho de las heces” se define como: el producto debe hacer la recolección de las heces solo con la activación por parte del usuario, de modo que no suponga hacer algún tipo de esfuerzo físico.
- El problema “Condiciones de higiene y limpieza” se define como: a tratar con residuos se busca minimizar el contacto del usuario con el residuo, además de la facilidad de limpieza de este.
- El problema “Versatilidad y funcionalidad” se define como: es primordial desarrollar un producto funcional para las tareas que requiere el cliente, brindando una alternativa que cumpla con los requerimientos del usuario.
- El problema “Comodidad para el usuario” se define como: el material del que este hecho debe permitir que el producto sea liviano y portátil, además de tener un precio asequible para el consumidor.
- El problema “Impacto en el ambiente” se define como: es fundamental que el producto evite al máximo un impacto negativo en el medio ambiente, debido a que este el punto que carecen las otras alternativas.
- El problema “Seguridad” se define como: el producto al funcionar de manera automática debe tener todos sus mecanismos resguardados y no visibles para el usuario.

Se realizó la identificación de los principales competidores con los que el usuario desecha actualmente las heces de perro, ya que son los productos que competirán directamente en la satisfacción de las necesidades del usuario. Estos se enlistan a continuación.

1. Bolsa plástica para mascotas, utilizada para la recolección de las heces de los perros [15].
2. El producto patentado por [16] y se ata a la base de la cola del perro mediante un clip para la recolección de las heces de los perros.
3. Pala automática, de la marca Petphabet, que recoge las heces en distintos tipos de superficies y las deposita en una bolsa, la cual está basada en la patente de [17].
4. El recogedor plegable, de la marca Kanxeto, un utensilio para la retirada de los desechos de la mascota [18].

Se realizó la búsqueda del valor que corresponde a cada indicador planteado en la tabla 4 para cada producto competitivo enunciado, la cual muestra el número del indicador, el indicador, la unidad de medida, el peso dado por el equipo de trabajos y los productos evaluados, es decir, el indicador que expresa Altura está identificado como I6, su unidad de medida es centímetros (cm) y el valor del indicador es 33,02 cm para la bolsa plástica, 8,5 cm para la bolsa con clip, —cm para la pala automática y 27 cm para el recogedor plegable (recogido).

Tabla 5. Benchmarking

No.	Indicador	Unidad	Bolsa plástica (60 rollos)	Bolsa con clip	Pala automática	Recogedor plegable
I1	Contacto con los excrementos	Binario	Sí	Sí	Sí	No
I2	Material	Elenco	plástico oxo-biodegradable	Silicona	ABS	Poliamida y ABS natural
I3	Volumen de recolección	cm ³	-	-	-	-
I4	Ciclo de vida	Años	0	NE	NE	NE
I5	Peso	gr	—	118	440	200
I6	Altura	cm	33,02	8,5	62,5	Recogido: 27
						Desplegado: 60,5
I7	Precio	USD (\$)	15,99	12,99	40,93	17,01
I8	Generación desechos	Binario	Sí	Sí	Sí	Sí
I9	Reutilizable	Binario	No	Sí	Sí	Sí
I10	Seguridad	Binario	No	No	No	No
I11	Automático	Binario	No	No	Sí	Sí
I12	Fácil limpieza	Binario	—	Sí	No	Sí

Fuente: elaboración propia.

La tabla 5 nos permite analizar cómo se comportan las alternativas que existen actualmente del proceso de recolección y desecho de heces caninas frente a los indicadores planteados en etapas previas. Teniendo en cuenta la comparación de los productos competitivos frente a los indicadores, se concluye que el producto de mejor desempeño y, por tanto, el mejor competidor directo es el recogedor plegable Kanxeto.

Se especifica que para el indicador con el código I3 no se encontró la información correspondiente a cada producto y fue imposible calcularlo mediante las dimensiones de estos, mientras que el indicador I4 presenta un valor de NE, información no encontrada.

Una vez definidas correctamente las especificaciones y al realizar un análisis técnico de la competencia, se procedió a realizar el proceso de generación de conceptos que pretende compactar las especificaciones en modelos aproximados que, posteriormente, se evaluarán.

3.5 Generar conceptos de producto

El concepto de un producto es una descripción aproximada de la tecnología, los principios de trabajo y la forma del producto. Es un bosquejo o modelo tridimensional aproximado que describe la forma en la que el producto va a satisfacer las necesidades del cliente [12].

A partir de la definición del problema en estudio, y a consideración del equipo de trabajo, se descompone de la manera que se expone en la figura 1.

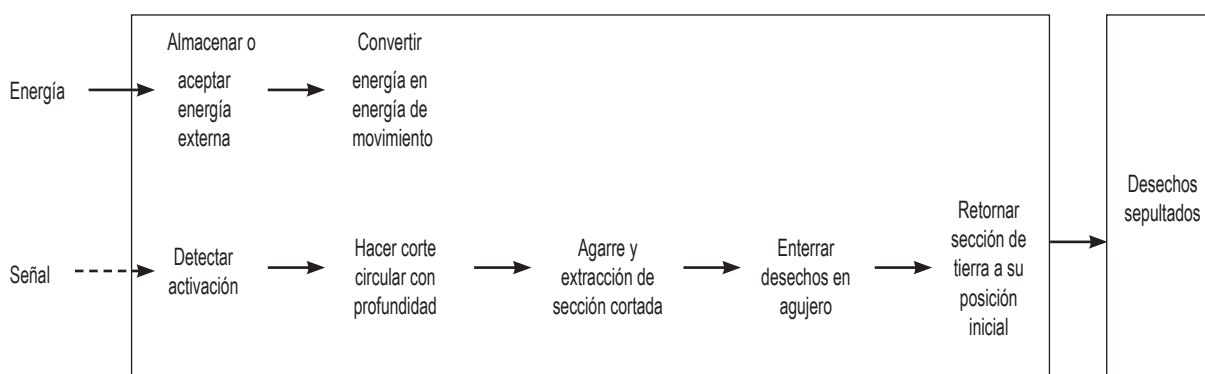


Figura 1. Descomposición en subproblemas

Fuente: elaboración propia.

Con base en la figura 1 se logra identificar los subproblemas necesarios para cumplir con el objetivo del producto. En cada uno de estos subproblemas se realizó un proceso de búsqueda externa en fuentes tales como patentes y literatura técnica de las alternativas existentes que los solucionan. Además,

mediante sesiones individuales y grupales del equipo de desarrollo se encontraron opciones factibles adicionales pertenecientes a lo que se denomina “búsqueda interna”.

Luego de los procesos de búsqueda, se estructura el siguiente paso denominado como “exploración sistemática”, cuyo objetivo es organizar el espacio de posibilidades encontradas y definir los diferentes conceptos de producto [12].

La figura 2 presenta un ejemplo del desglose llevado a cabo para cada subproblema con sus respectivas alternativas mediante árboles de decisión, herramienta que permite seleccionar las opciones que son más factibles para el producto a desarrollar de acuerdo con las especificaciones y necesidades encontradas. De esta manera, las casillas sombreadas hacen referencia a las ramas eliminadas, para este caso las alternativas que mejor se acomodan a solucionar el subproblema del almacenamiento de energía son las referentes a energía eléctrica, ya que son las que mejor responden a la especificación de portabilidad que el usuario requiere debido a las características físicas que estas tienen. Las demás alternativas no se tienen en cuenta debido a que alejan al producto de ser un dispositivo portable.

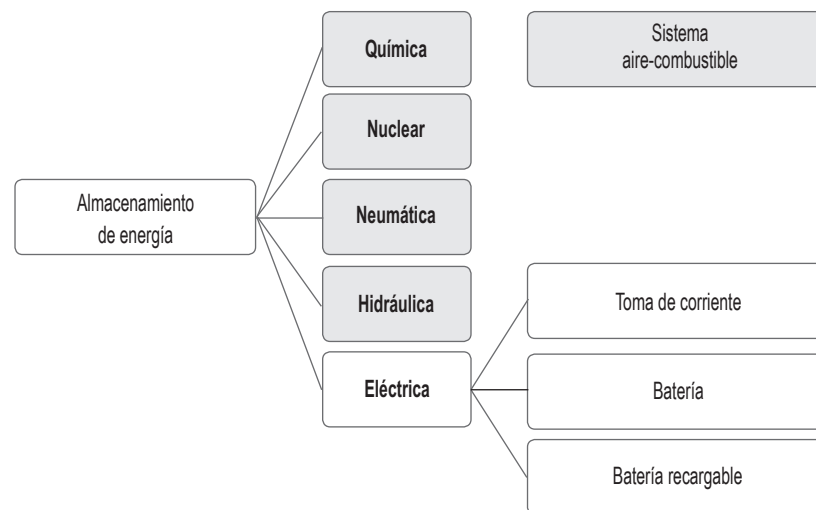


Figura 2. Árbol de decisión

Fuente: elaboración propia.

El proceso de filtro de alternativas mediante arboles de decisión se realizó para cada subproblema. Una vez realizado este proceso se procedió a realizar una tabla de combinación de conceptos, con el objetivo de generar conceptos que tengan en cuenta las alternativas seleccionadas y solucionen todos los problemas del producto definidos anteriormente. La tabla 6 muestra cada uno de los siete subproblemas críticos con sus respectivas soluciones, es decir, para el subproblema crítico “Hacer corte circular con profundidad” se consideran como soluciones posibles las cuchillas o el tubo a presión.

Tabla 6. Combinaciones de concepto

Almacenamiento de energía	Convertir energía en energía de movimiento	Detectar activación	Hacer corte circular con profundidad	Agarre y extracción de sección cortada	Enterrar desechos en agujero	Retornar sección de tierra a su posición inicial
Toma de corriente	Motor	Botón	Cuchillas	Presión	Giro	Automático
Batería	Manubrio giratorio	Bluetooth	Tubo a presión	Pala	Escoba	Manual
Batería recargable	Palanca	Sensor táctil				

Fuente: elaboración propia.

Si se tienen en cuenta las diferentes opciones posibles de cada subproblema crítico se prosigue a realizar combinaciones que el equipo de desarrollo de producto considera solucionan de manera satisfactoria el problema a resolver al elegir una opción a cada subproblema crítico, y así generar conceptos de producto: 1) batería recargable, motor, Bluetooth, cuchillas, presión, giro, automático; 2) batería, manubrio giratorio, botón, tubo a presión, presión, giro, manual; 3) batería, palanca, sensor táctil, tubo a presión, presión, escoba, manual; y 4) toma de corriente, motor, botón, cuchillas, pala, giro, automático.

Con base en las posibles combinaciones evidenciadas, la figura 3 permite visualizar cada concepto generado por el equipo de desarrollo, a fin de proporcionar al lector una idea más gráfica del mecanismo de funcionamiento de cada concepto.

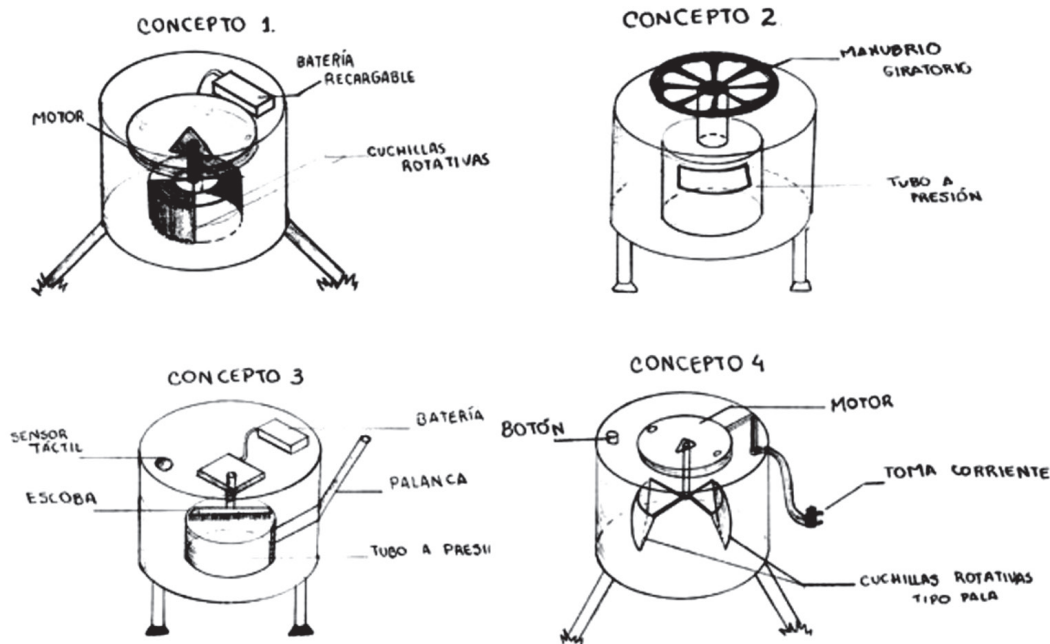


Figura 3. Conceptos

Fuente: elaboración propia.

Una vez generado un grupo de conceptos para el producto, se procede a evaluarlos mediante el proceso de selección del concepto, el cual es un método analítico que se divide en dos fases: *concept screening* (proyección del concepto) y *concept scoring* (puntuación del concepto). La finalidad de la primera fase es realizar una clasificación a nivel cualitativo de los conceptos, mientras que la segunda fase se enfoca en hacer un análisis más detallado a nivel cuantitativo de los conceptos restantes [12].

3.6 Seleccionar concepto/s de producto

Para la fase de *concept screening* se busca hacer una primera evaluación cualitativa de los conceptos con base en los indicadores para hacer un primer filtro a los conceptos generados.

Se eligieron los siguientes indicadores, definidos anteriormente, a fin de desarrollar la matriz de selección de concepto: contacto con los excrementos, generación de desechos, reutilizable, automático, fácil limpieza, portabilidad y seguridad. No se tuvo en cuenta los indicadores material, volumen de recolección, ciclo de vida y precio, debido a que son variables de cada concepto que en esta etapa del desarrollo de producto no se puede conocer con certeza.

Se escogió el recogedor plegable Kanxeto como referencia, ya que este producto fue elegido el mejor competidor directo frente al producto que se está desarrollando. De acuerdo con esto, se realizó la evaluación relativa, en la que el signo (+) se refiere a que su desempeño en el criterio es mejor que la referencia, (0) cuando es igual a la referencia y el signo (-) indica que se desempeña peor que la referencia.

La tabla 7 hace referencia a la matriz *concept screening* para evaluar cualitativamente los conceptos. Luego se realizó el cálculo de la puntuación y la clasificación de cada concepto al comparar cada concepto generado con el producto de referencia e identificar dos conceptos para combinación (conceptos 2 y 4), un concepto que continúa a la fase de *concept scoring* sin modificación (concepto 1) y un concepto descartado (concepto 3).

Tabla 7. Concept screening

Criterios de selección	Conceptos				
	Referencia	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	Concepto 4
Contacto con los excrementos	0	+	+	0	+
Generación de desechos	0	+	+	+	+
Reutilizable	0	+	+	+	+
Automático	0	+	-	-	+
Fácil limpieza	0	+	-	-	+
Portabilidad	0	+	+	+	-
Seguridad	0	-	+	+	-
Suma de +	-	6	5	4	5

Criterios de selección	Conceptos				
	Referencia	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	Concepto 4
Suma de 0	-	0	0	1	0
Suma de -	-	1	2	2	2
Puntaje	-	4	3	2	3
Clasificación	-	1 ^a	2 ^a	3 ^a	2 ^a
Decisión	-	Continua	Combinar	Eliminar	Combinar

Fuente: elaboración propia.

Se realizó la combinación de los conceptos 2 y 4 de tal forma que se suplieran las falencias que cada uno tenía individualmente. Esto arrojó como resultado un concepto con las siguientes alternativas: batería, motor, sensor táctil, cuchillas, pala, giro y automático.

Calificados cualitativamente los conceptos se procedió a la fase de *concept scoring* que dio como resultado el concepto a desarrollar. En la tabla 8 se establece una calificación cuantitativa para cada uno de los conceptos de producto restantes según cada criterio de selección. A cada criterio de selección se le asignó un peso teniendo en cuenta que aspectos del producto a desarrollar son más importantes para los usuarios y nuestro criterio como grupo de trabajo.

Los pesos porcentuales de cada criterio de selección fueron establecidos por el equipo de trabajo teniendo en cuenta el peso que se le asignó a cada necesidad en la tabla 3. En esta, a las necesidades que tuvieran un mayor peso (peso 5) se le asignó un porcentaje total del 15 %, y a las de menor peso (peso 4) se le asignó un porcentaje total del 13,33 %.

Tabla 8. Concept scoring

Criterios de selección	Peso	Conceptos					
		Referencia		Concepto 1		Concepto combinado	
		Calificación	Puntaje ponderado	Calificación	Puntaje ponderado	Calificación	Puntaje ponderado
Contacto con los excrementos	15 %	3	0,45	5	0,75	5	0,75
Generación de desechos	15 %	3	0,45	5	0,75	5	0,75
Reutilizable	15 %	3	0,45	5	0,75	5	0,75
Automático	13,33%	3	0,39	5	0,66	5	0,66
Fácil limpieza	13,33 %	3	0,39	5	0,66	4	0,53
Portabilidad	13,33 %	3	0,39	5	0,66	5	0,66
Seguridad	15 %	3	0,45	4	0,6	4	0,6
Puntuación total	100 %	2,97		4,83		4,7	
Rango		-		1°		2°	
Decisión		-		Desarrollar		No	

Fuente: elaboración propia.

Se realizó la calificación de cada concepto nuevamente comparándolo con el concepto de referencia elegido mediante una escala de 1 a 5, donde 1 significa que se desempeña mucho peor que la referencia y 5 mucho mejor que la referencia.

A fin de calcular los puntajes ponderados se definió inicialmente un peso porcentual para cada criterio de selección, luego se multiplicó la calificación dada por el equipo de desarrollo de producto por el peso porcentual y la sumatoria de estos valores define la puntuación total de cada concepto de producto.

Luego de la fase cuantitativa se obtiene como resultado el concepto 1, el cual se someterá a una fase de evaluación individual en el que se presenta al segmento del mercado definido para probar su eficiencia en la satisfacción de las necesidades encontradas y se identificará con el código C1 en las siguientes etapas.

3.7 Probar concepto/s de productos

La prueba de un producto es la fase en la que se garantiza que el concepto desarrollado estará en grado de satisfacer las necesidades de la mejor manera con respecto a los productos de la competencia, de manera que es útil para evitar los costos por errores y corregir la ruta del desarrollo anticipadamente [12].

Una vez se contó con el concepto de producto a desarrollar (C1), se realizó una encuesta virtual cuyo objetivo fue evaluar la intención de compra, el grado de apreciación del producto en general, sus características específicas y su rendimiento. En esta encuesta se mostró el concepto a los clientes objetivo mediante un renderizado del concepto y una simulación del funcionamiento de este.



Figura 4. Render de concepto 1 (C1)

Fuente: elaboración propia.

La encuesta se basó en cuatro preguntas con opción múltiple, una pregunta en escala Likert de 5 puntos con el fin de realizar una evaluación cuantitativa y, finalmente, tres preguntas abiertas, para un total de ocho preguntas. Además, fue realizada a 68 personas que conforman la muestra B, la cual fue calculada con el mismo método de la muestra A.

Según las respuestas de las encuestas se encontró que un 75 % de la muestra probablemente compraría el producto sin tener en cuenta su precio de venta. Asimismo, un 85% de las personas encuestadas considera que el producto es práctico y de fácil uso teniendo en cuenta la descripción hecha y la simulación mostrada. Se halló que los atributos más notorios del producto desarrollado son el impacto en el medio ambiente y la practicidad para el usuario. Adicionalmente, las personas encuestadas reconocen que el producto tiene oportunidades de mejora como el posible costo que tendría y las consideraciones estéticas del paisaje en el que este se use.

Varios encuestados sugirieron la idea de agregar un puerto USB para la carga del producto como alternativa adicional al panel solar, ya que manifestaron que no se tiene energía solar en todo momento y esto puede llevar a que el producto se quede sin carga y dificulte su funcionamiento. También otra sugerencia tomada en cuenta fue la de trasladar la manija del centro del cuerpo del producto a un costado del panel solar, debido a que cuando estaba en la posición original bloqueaba parte de los rayos que llegaban al panel y podría entorpecer la carga del producto.

De acuerdo con lo anterior y atendiendo las necesidades de los usuarios, el equipo de desarrollo decidió cambiar el diseño de los cuatro soportes retráctiles del concepto C1 por tres soportes plegables, dado que los encuestados realizaron comentarios sobre cómo la primera alternativa resultaba poco atractiva y, debido a que algunos terrenos poseen desniveles, se podría entorpecer el funcionamiento con estos soportes.

Por último, se rediseñó el sistema de cuchillas para garantizar la conservación del paisaje en función de que parte de la muestra encuestada mencionó que el diseño inicial podría ocasionar cortes poco uniformes y resultados poco estéticos en la integralidad del paisaje.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como finalización de la metodología de desarrollo de producto se procede a definir las características definitivas del prototipo estético CAD con base en las modificaciones hechas en la etapa de prueba de concepto/s.

4.1 Fijar especificaciones finales

Luego de analizar el acercamiento con el cliente potencial se procedió a mejorar el concepto C1, con base en las respuestas obtenidas en la fase anterior y con el objetivo de satisfacer de la mejor manera las necesidades de los clientes.

La figura 5 muestra el prototipo final obtenido luego de las modificaciones de mejora expresadas en la fase anterior.



Figura 5. Render del prototipo

Fuente: elaboración propia.

Con el fin de evaluar y garantizar el desempeño de los indicadores propuestos en la fase de definición de especificaciones, la tabla 9 resume la ficha técnica del prototipo final, en la cual cada indicador codificado con un número IX tiene una medida con su respectiva unidad.

Tabla 9. Ficha técnica

N.o	Indicador	Unidad	Medida
I1	Contacto con los excrementos	Binario	No
I2	Material	Elenco	Carcasa: plástico Soporte, cuchillas, base y patas: acero
I3	Volumen de recolección	cm ³	94124,08
I5	Peso	gr	1200,09
I6	Altura	cm	20,705
I6	Altura (desplegado)	cm	37,91

N.o	Indicador	Unidad	Medida
18	Generación desechos	Binario	No
19	Reutilizable	Binario	Sí
110	Seguridad	Binario	Sí
111	Automático	Binario	Sí
112	Fácil limpieza	Binario	Sí

Fuente: elaboración propia.

Según los parámetros propuestos en la fase de definición de especificaciones, la ficha técnica de la tabla 9 indica los estándares y las características con las que cuenta el prototipo final para satisfacer las necesidades del cliente. Por otra parte, los indicadores de precio (17) y ciclo de vida (14) no se tienen en cuenta en esta ficha por efectos de alcance de la investigación, sin embargo, podrán ser objeto de estudio para investigaciones futuras.

Teniendo en cuenta la definición de [19], la innovación se puede definir como encontrar una idea nueva y transformarla en una idea concreta. También la podemos entender como el conocimiento en demanda, es decir, algo nuevo que por ello entra a sumarse al conocimiento existente. Por tanto, se considera que esta investigación propone una solución innovadora al problema de desechar las heces de los perros sin hacer uso de bolsas plásticas.

5. CONCLUSIONES

Las heces de los perros representan un problema ambiental y de salubridad, debido a que fomentan el uso de plástico y funcionan como foco de origen de diversas bacterias, como, por ejemplo, la *E. coli* y *Salmonella* Spp, por lo cual el desarrollo del dispositivo representa una solución a estas problemáticas.

El marco de ideas para la etapa de generación de conceptos se expandió gracias a la interacción inicial que se tuvo con el usuario, en la que este compartió ideas que podrían resolver una o varias problemáticas a las cuales el producto se enfrentaba y a partir de esto afinar las especificaciones del producto.

El usuario necesita un producto que facilite el desecho de las heces de perro, que sea amigable con el medio ambiente, higiénico, versátil, duradero, de fácil uso y seguro, debido a que los productos comercializados actualmente en el mercado se enfocan solo en algunas de estas necesidades, como, por ejemplo, la facilitación del desecho de las heces de perro y la facilidad de uso del producto.

El proceso de *benchmarking* permitió comparar los productos del mercado usados para el desecho de las heces de los perros y, a partir de esto, se encontró vacíos en estos, los cuales se tuvieron en cuenta para la construcción del concepto a desarrollar, como, por ejemplo, la falta de una alternativa amigable

con el medio ambiente que no utilice bolsas plásticas o que el usuario debiera tener contacto con las heces recogidas.

La generación de conceptos caracterizó de manera visible diversas alternativas que podía tener el producto, evaluando las diferentes formas de solucionar cada uno de los subproblemas definidos como necesarios para cumplir el objetivo del producto, el cual es que las heces de perro sean sepultadas sin que el usuario interactúe con ellas.

El proceso de selección de concepto evaluó cualitativa y cuantitativamente todos los conceptos generados por el equipo de desarrollo de producto, reduciendo a la alternativa que mejor se desempeña en la satisfacción de las necesidades del cliente.

El prototipo CAD, luego de realizar las modificaciones finales, cumple satisfactoriamente con los requerimientos del cliente, ya que cumple en los rangos definidos en las especificaciones y soluciona el problema de desechar las heces de los perros sin hacer uso de bolsas plásticas.

REFERENCIAS

- [1] American Veterinary Medical Association, *U.S. pet ownership & demographics sourcebook*. EE. UU.: Schaumburg, 2012.
- [2] Y. Feng y L. Xiao, "Zoonotic potential and molecular epidemiology of giardia species and giardiasis", *Clin. Micr. Rev.*, vol. 24, n.º 1, pp. 110-140, 2011.
- [3] L. Rinaldi *et al.*, "Canine faecal contamination and parasitic risk in the city of Naples (southern Italy)", *BMC Vet. Res.*, vol. 2, n.º 1, p. 29, 2006.
- [4] D. Rubel y C. Wisnivesky, "Magnitude and distribution of canine fecal contamination and helminth eggs in two areas of different urban structure, Greater Buenos Aires, Argentina", *Vet. Par.*, vol. 133, n.º 4, pp. 339-347, 2005.
- [5] D. Traversa *et al.*, "Environmental contamination by canine geohelminths", *Parasites & Vectors*, vol. 7, n.º 1, p. 67, 2014.
- [6] B. Al Johny, "Potential environmental health hazards from the careless discard of canine faeces", *Biosc. Biotech. Res. As.*, vol. 12, n.º 2, pp. 1055-1058, 2015.
- [7] J. Márquez D., "Relación estructural entre la enterobacteria Escherichia Coli y el sistema operativo Linux", *Ingen.*, n.º 17, pp. 135-142, 2014.
- [8] N. Allocati, M. Masulli, M. Alexeyev y C. Di Ilio, "Escherichia coli in Europe: an overview", *Int. J. Env. Res. Pub. Hea.*, vol. 10, n.º 12, pp. 6235-6254, 2013.
- [9] S. Eng, P. Pusparajah, N. Ab Mutalib, H. Ser, K. Chan y L. Lee, "Salmonella: a review on pathogenesis, epidemiology and antibiotic resistance", *Front. Li. Sc.*, vol. 8, n.º 3, pp. 284-293, 2015.
- [10] R. Geyer, J. Jambeck y K. Law, "Production, use, and fate of all plastics ever made", *Sc. Ad.*, vol. 3, n.º 7, p. e1700782, 2017.

- [11] T. Brown, *Change by design*. Nueva York: HarperCollins, 2009.
- [12] K. Ulrich y S. Eppinger, *Diseño y desarrollo de productos*, 5ª ed. Mexico: Mcgraw-Hill Interamerican, 2013.
- [13] J. Kitzinger, "Qualitative research: introducing focus groups", *BMJ*, vol. 311, n.º 7000, pp. 299-302, 1995.
- [14] J. Kolko, "Design thinking comes of age", *Harvard Business Review*, pp. 66-71, 2015.
- [15] C. Chung-Hung, "Pet Waste Bag", A.U. Patent 2 017 201 292 A1, September 13, 2018.
- [16] R. Hazan y M. Hazan, "Apparatuses, 3, Systems and Methods for Catching Canine Feces", U.S. Patent 8 944 012 B2, feb. 2015.
- [17] A. Carns, "Dog Waste Scoop", 4194777, U.S Patent 4 194 777, mar. 25, 1980.
- [18] Kanxeto, ¿Que es Kanxeto?. Kanxeto.es. <http://www.kanxeto.es/>
- [19] T. Fontalvo Herrera, "La Innovación para la generación de valor en los procesos de calidad", *Ingen.*, n.º 14, pp. 95-104, 2013.

CÓDIGO DE ÉTICA – REVISTA INGENIARE

INGENIARE es una revista de divulgación científica para todas las áreas de la ingeniería, la cual se publica con periodicidad semestral. Todos los trabajos son sometidos a un proceso de revisión doble ciega, sin excepción. Todos los autores que deseen publicar en la Revista INGENIARE deberán expresar por escrito el carácter original e inédito del manuscrito presentado, además de manifestar explícitamente el acogerse a las políticas de éticas de la revista, considerando y evitando los siguientes casos:

1. Publicaciones redundantes
2. Plagio
3. Datos alterados o falsos
4. Conflicto de intereses

I. PUBLICACIONES REDUNDANTES

En la carta de presentación de cada trabajo sometido a evaluación, los autores deben declarar explícitamente que éste no ha sido publicado total o parcialmente en otra revista científica. En caso de que se trate de la ampliación de un artículo ya publicado, debe declararse en el trabajo presentado.

Los trabajos presentados a la revista INGENIARE, puede detectarse la redundancia en estado de manuscrito, por alguno de los pares evaluadores, o en estado de artículo publicado, por parte de algún lector de la revista. En cualquier caso, ante el señalamiento de redundancia, el Comité Editorial procederá a realizar la respectiva investigación. En caso de encontrar que, en efecto, existe redundancia, se procederá a contactar a los autores, quienes deberán presentar por escrito una justificación del alcance de la redundancia, de la admisión de la culpa o del rechazo de la redundancia encontrada. El Comité Editorial estudiará el descargo presentado por el(los) autor(es).

- a. Si se trata de un artículo en revisión: De ser satisfactoria la explicación presentada, se procederá a rechazar el manuscrito y se notificará al(os) autor(es).
- b. Si se trata de un artículo publicado: De ser satisfactoria la explicación presentada, se notificará al(os) autor(es) y se les solicitará una carta donde se retracten, para ser publicada en la revista.

En cualquier caso donde el(los) autores no respondan a los requerimientos del Editor o el Comité Editorial, se contactará a la entidad donde los autores registran filiación sobre el caso, para notificar el caso y solicitar información de contacto de cada uno de los autores.

II. PLAGIO

Todo manuscrito presentado a consideración para publicación en la Revista INGENIARE debe referenciar adecuadamente todas las fuentes bibliográficas utilizadas, incluyendo lo referente a gráficas, tablas, ilustraciones o cualquier otro aparte, señalando con claridad la fuente cuando se trate de terceros,

de acuerdo a los lineamientos del documento “IEEE Citation Reference” vigente (Consultar los lineamientos para los autores). Al presentar el escrito a la Revista, los autores deberán garantizar por escrito que el texto fue sometido a su adecuada revisión para evitar plagio.

Todos los trabajos recibidos por el Comité Editorial son sometidos a una revisión de coincidencias con respecto a otros trabajos. Si no se detecta plagio, al trabajo se le asignan pares evaluadores de acuerdo a su temática, para continuar con el proceso de evaluación. Si se detecta plagio en un manuscrito, se procederá de la siguiente forma:

- a. Plagio evidente [p. ej. presentación de una larga porción de texto o datos sin atribución explícita a la(s) fuente(s) originales, presentándolo como propios]: El editor contactará al autor, notificándole el rechazo del artículo junto con la evidencia de plagio. El Comité Editorial evaluará la posibilidad de notificar el caso a la entidad a la cual el(los) autores reportan filiación así como al(los) autor(es) del texto objeto de plagio.
- b. Plagio menor [p.ej. fragmentos pequeños de texto o frases donde aparece(n) la(s) referencia(s) mal citada(s)]. El Editor contactará al(los) autor(es), solicitándole las correcciones respectivas. Una vez se reciban, si las correcciones son satisfactorias, se continuará con el proceso editorial. De lo contrario, se procederá a rechazar el artículo definitivamente y se le notificará de la decisión al(los) autor(es) del manuscrito.

En caso de que el plagio se detecte posterior a la publicación del artículo, el Comité Editorial estudiará las acciones a tomar de acuerdo a lo señalado por el COPE, lo cual incluye, pero no está limitado a:

- Publicación de una retracción por parte de los autores.
- Informar a los autores del texto original sobre el plagio acontecido y las acciones a ejecutar.
- Informar a la institución a la cual está(n) afiliado(s) el(los) autor(es) sobre el caso de plagio acontecido.

III. DATOS FALSOS

Todo artículo presentado a consideración para publicación en la Revista INGENIARE deberá partir de datos reales e información veraz, obtenidos por el(los) propio(s) autor(es) y señalando cuándo se parte de datos suministrados por fuentes secundarias o terciarias, en cuyo caso deberá mencionarse la fuente de manera explícita. Así mismo, deberá dársele a los datos un tratamiento objetivo y científico, sin someterlos a ningún tipo de procedimiento que los altere o sesgue para mostrar resultados favorables a la investigación cuando, en realidad, éstos muestren resultados parcial o totalmente desviados del objetivo de la investigación presentada. En caso de que los pares evaluadores de un manuscrito o los lectores del artículo ya publicado sospechen que un trabajo se basó en datos falsos o adulterados, deberán notificar el caso al editor de la revista INGENIARE, en cuyo caso se procederá a investigar bajo los criterios que plantea el COPE.

IV. CONFLICTO DE INTERESES

Todo manuscrito presentado a la revista INGENIARE para su revisión deberá adjuntar una declaración firmada por todos los autores donde se declara que tanto la investigación como el artículo a publicar no presenta conflicto de intereses [por ej. Con la institución que financia el estudio o la institución a la cual están afiliados los autores]. En caso de detectarse conflicto de intereses por parte de los revisores del artículo, en el estado de manuscrito, o de denunciarse por parte de algún lector, en el evento en que el artículo sea publicado, el Comité Editorial de la revista procederá de acuerdo a los lineamientos señalados por el COPE.

DIRECTRICES PARA AUTORES/AS

Ingeniare es una revista creada para la divulgación de los resultados de la investigación realizada en las distintas áreas de la ingeniería y ciencias afines, emitida con una periodicidad semestral. La Revista se ocupa de la publicación de artículos científicos producto de la investigación, sea esta básica o aplicada, siempre que procuren el desarrollo científico en los campos del saber relacionados con la Ingeniería.

De esta forma, Ingeniare pretende contribuir con la difusión e intercambio del conocimiento en los escenarios nacionales e internacionales, abriendo un espacio para la visibilidad de la producción científica, buscando también su consolidación como una fuente reconocida de consulta dentro de la comunidad académica y científica.

La Revista Ingeniare es editada por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Libre, Seccional Barranquilla. Actualmente, se encuentra indexada en la categoría C ante Publindex-Colciencias.

I. TIPOS DE ARTÍCULOS

Con el fin de cumplir con los criterios de calidad científica requeridos por el Comité Editorial de la Revista Ingeniare, los artículos presentados deben cumplir con la siguiente tipología:

- Artículo de investigación e innovación. Documento que presenta la producción original e inédita, publicada en una revista de contenido científico, tecnológico o académico, resultado de procesos de investigación, reflexión o revisión, que haya sido objeto de evaluación por pares. Los artículos de investigación e innovación abarcan la siguiente subclasificación:
- Artículos de Investigación científica y tecnológica: Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.
- Artículos de reflexión: Documento que presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.

INGENIARE

- Artículo de revisión: Documento resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias.
- Artículo corto: Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren de una pronta difusión.

II. ESPECIFICACIONES

Los artículos que aspiran a la publicación en esta Revista deben remitirse vía E-mail, al correo electrónico a los correos electrónicos revistaingeniare@unilibrebaq.edu.co ó rdelahoz@unilibrebaq.edu.co, junto con una carta de presentación del autor o autores firmada y dirigida al Comité Editorial de la Revista, indicando el título completo de trabajo y tipo de artículo, nombre del proyecto en que trabaja (si es investigador) y nombre del grupo de investigación al que pertenece. La carta debe certificar la originalidad y el carácter inédito del artículo al tiempo que su exclusividad para la Revista Ingeniare.

III. PROCEDIMIENTO DE ENTREGA Y PUBLICACIÓN DE ARTICULOS

1. RECEPCIÓN:

El artículo se debe entregar, en formato impreso (original y dos copias) y en medio magnético, en archivo Word para Windows, igual para los cuadros y los gráficos en Excel, al Editor de la Revista, quien realiza una evaluación preliminar con el Comité Editorial.

2. EVALUACIÓN:

El Editor de la Revista enviará los diferentes artículos a pares evaluadores para que emitan un concepto profesional de la calidad del documento, así: Artículo publicable, artículo publicable con ajustes por parte del autor, artículo rechazado. El comité Editorial tendrá en cuenta estos conceptos para su publicación. De todas maneras, se comunicará a los autores sobre la decisión tomada.

3. CORRECCIÓN:

Si el artículo es publicable con correcciones, el autor será notificado de las correcciones anotadas por los pares y deberá entregar nuevamente el artículo con las correcciones señaladas, dentro del período de tiempo estipulado por el Editor de la Revista.

4. PUBLICACIÓN:

Una vez el artículo se recibe y se corrobora la realización de las correcciones o se trata de un artículo publicable sin correcciones, es enviado a prensa para su impresión. Al autor se le notifica la aceptación final del artículo con los datos de la publicación.

IV. REDACCIÓN:

Los artículos deben cumplir con lo expuesto a continuación:

- Debe escribirse en papel tamaño carta (21,6 x 27,9 cm), a espacio y medio, incluyendo resumen, tablas, diagramas, figuras y referencias, etc. El artículo debe estar dentro de un margen de 2,5 cm en todos los lados.
- Los artículos deben redactarse con un alto nivel de corrección sintáctica, sin errores ortográficos ni de puntuación y que evidencien una precisión y claridad en las ideas.
- Cada una de las tablas que aparezca en el documento en Word deben estarelaboradas en Hoja de Cálculo, preferiblemente Excel.
- Las fotografías que apliquen para ser vinculadas al documento deben estar adjuntas en una carpeta digital independiente llamada imágenes en formato JPG.

V. ESTRUCTURA

Los artículos presentados a la Revista Ingeniare deben llevar la siguiente estructura:

- Título: letra Arial 14, centrado y en mayúscula sostenida. Deberá referenciar a pie de página, título de la investigación, grupo y línea de investigación y nombre del investigador principal. El título debe ser presentado en español e inglés.
- Nombre completo del autor (es): letra Arial 12 y en pie de página en Arial 10 especificar sus títulos académicos, filiación institucional, dirección de correspondencia y email. También se puede incluir el grupo y línea de investigación al que pertenece, si se trata de un artículo de investigación.
- Resumen: letra Arial 12; debe contener entre 100 y 150 palabras, redactado en tercera persona y en tiempo pasado. Evite las citas textuales, las abreviaturas y las referencias bibliográficas.
- Abstract: el mismo contenido del resumen, escrito en idioma inglés.
- Palabras claves: letra Arial 12, entre 5 a 10 palabras que representen el contenido del documento.
- Keywords: son las mismas palabras escritas en el idioma inglés.
- Desarrollo del documento: 1. Introducción, 2.Revisión de la literatura, 3.Metodología, 4. Resultados y discusión, 5. Conclusiones y 6. Referencias. Debe emplearse como fuente Arial e interlineado 1,0 para todo el documento. Cada sección debe titularse usando números arábigos (1.2.3....), empleando negrita y mayúscula sostenida.
- Tablas, Diagramas y Figuras: deben estar en Arial 8, negrita y especificar la fuente o aclarar si fue elaborada por los autores del documento, al pie de la misma. (p.ej. "Tabla 1. Nombre de la tabla. Fuente: Elaboración de los autores").

INGENIARE

- Referencias Bibliográficas: Corresponden a los textos referenciados en el artículo y deben aparecer al final del mismo. Cada referencia debe indicarse en números arábigos encerrados entre corchetes [] y en orden de aparición en el texto. Seguir el formato de norma IEEE. (Ver sección VII).

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Para las referencias bibliográficas se empleará el estilo definido por la IEEE, el cual emplea la asignación de un número arábigo consecutivo, encerrado entre corchetes, de acuerdo al orden de aparición dentro del documento. Este número debe corresponder a la fuente colocada en el listado final de referencias bibliográficas, organizando la información según su naturaleza así:

- Libros

[Número asignado] Iniciales del nombre del autor. Apellido(s). Nombre del libro en cursiva, no. edición, Ciudad de publicación, País: Editorial, año, capítulo (opcional), sección (opcional), páginas consultadas. Ejemplo: [1] S.N. Neftci, *Ingeniería financiera*. Ciudad de México, México: McGraw – Hill, 2008, pp.430-550.

- Capítulo de libro con editor principal

[Número asignado] Iniciales del nombre del autor. Apellido(s). “Nombre del capítulo del libro entre comillas,” en Nombre del libro en cursiva, no. edición, Ciudad de publicación, País: Editorial, año, capítulo (opcional), sección (opcional), páginas consultadas. Ejemplo: [2] F. Castrillón y R. Carvajal, “Materiales y diseño,” en *Introducción a la Ingeniería Sanitaria*, Z. Domínguez, Comp., Madrid: La muralla, 2007, pp. 99 – 114.

- Referencia de publicación seriada

[Número asignado] Iniciales del nombre del autor. Apellido(s). “Nombre del artículo entre comillas,” en Nombre de la publicación seriada, Vol. x, no. x, páginas consultadas, Abreviatura de la publicación seriada (opcional), mes/período, año. Ejemplo: [3] V. Charria, K. Sarsosa y F. Arenas. “Factores de riesgo psicosocial laboral: métodos e instrumentos de evaluación”, en *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, Vol. 29, n°. 4, pp. 380 – 391, diciembre, 2011.

- Artículo de revista electrónica

[Número asignado] Iniciales del nombre del autor. Apellido(s). (Año, Mes, día). Nombre del artículo. Nombre de la revista en cursiva [Tipo de medio]. No. Vol. (No. ejemplar), páginas consultadas. Disponible en: <http://www.direcciónweb> Ejemplo: [4] J. Areito Bertolín y A. Areito Bertolín. (2009, abr). Test de penetración y gestión de vulnerabilidad, estrategia clave para evaluar la seguridad. *Revista Española de Electrónica* [En línea]. (653), 1. Disponible en: http://www.redeweb.com/_txt/653/abril_2009.pdf

FORMATO DE EVALUACIÓN DE ARTÍCULOS

INSTRUCCIONES

Le agradecemos por su participación como par evaluador de la Revista INGENIARE. A continuación encontrará el formato de evaluación de artículos bajo los criterios definidos por el Comité Editorial, los cuales se dividen en dos categorías:

- **Criterios generales**, buscan evaluar la unidad del artículo en cuanto a su presentación
- **Criterios sobre el aporte**, buscan determinar el aporte del artículo al cuerpo de conocimiento y el grado de innovación presentado en la metodología, resultados y conclusiones.

Estos criterios son evaluados en una escala de 1 a 5, donde **1 es DEFICIENTE y 5 es EXCELENTE**. Después de evaluar estos aspectos, debe emitir su concepto de la siguiente forma:

- **Aceptado**: el artículo puede ser publicado en su estado actual
- **Aceptado con correcciones**: el artículo puede ser publicado, sujeto a la presentación de las correcciones planteadas por usted
- **Rechazado**: El artículo no es publicable debido a aspectos fundamentales de fondo

Al final del artículo puede presentar las observaciones que considere necesarias a los autores para mejorar el escrito. En caso de ser rechazado debe explicar a los autores los motivos.

Su evaluación constituye un aporte fundamental a la calidad de nuestra revista.

¡Gracias!

RICARDO DE LA HOZ L.
Editor
Revista Ingeniare

INGENIARE

NOMBRE DEL EVALUADOR:	
Lugar de Trabajo	
Cedula o Pasaporte	
NOMBRE DEL ARTÍCULO:	

I. CRITERIOS GENERALES DEL ARTÍCULO (Marque con "X")

CRITERIOS	5	4	3	2	1
a) Originalidad					
b) Contenido					
c) Actualidad					
d) Calidad de las referencias consultadas					
e) Redacción y coherencia del texto					
f) Calidad de los datos					
g) Metodología					
h) Resultados obtenidos e implicaciones					

II. CRITERIOS SOBRE EL APOORTE DEL ARTÍCULO (Marque con "X")

CRITERIOS	5	4	3	2	1
a) El estado del arte presentado en el artículo cubre literatura relevante sobre el tema					
b) Las referencias empleadas son pertinentes, de calidad y dan sustento a los argumentos presentados por los autores. Todas o su mayoría pertenecen a publicaciones en revistas científicas.					
c) Presenta aportes relevantes y de calidad al área de conocimiento sobre el cual versa el trabajo					
d) El artículo está acorde a la temática de la Revista Ingeniare					

III. CONCEPTO SOBRE EL ARTÍCULO

Considera que el artículo evaluado debe ser (Marque con "X"):

Aceptado	
Aceptado con correcciones	
Rechazado	

IV. OBSERVACIONES A LOS AUTORES (Explicar de qué manera los autores pueden mejorar el escrito o los motivos por los cuales fue rechazado)