

CULCYT

CULTURA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA • ISSN 2007-0411



VOLUMEN 18 | NÚMERO 3

SEPTIEMBRE - DICIEMBRE 2021



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

DIRECTORIO:

Mtro. Juan I. Camargo Nassar
RECTOR

Dr. Daniel Constandse Cortez
SECRETARIO GENERAL

Dr. Juan F. Hernández Paz
DIRECTOR DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Mtro. Jesús Meza Vega
DIRECTOR GENERAL DE COMUNICACIÓN UNIVERSITARIA



CULCYT. CULTURA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Revista de investigación en ingeniería e innovación tecnológica | ISSN 2007-0411

COMITÉ EDITORIAL

Dra. Nelly Gordillo Castillo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ
Editora en Jefe

Mtro. Raúl Alfredo Meza González
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ
Coordinador Editorial

Dr. Víctor Manuel Castaño Meneses
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dr. Ramón Gerardo Guevara González
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

Dra. Klavdia Oleschko Lutkova
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dr. Abdiel Ramírez Reyes
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

Dra. Santos Adriana Martel Estrada
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

Dr. David Cortés Sáenz
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

Dr. David Ortega Gaucin
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

[DOI: 10.20983/culcyt.2021.3](https://doi.org/10.20983/culcyt.2021.3)

Modalidad de publicación continua. Tan pronto como un artículo ha sido preparado, se publica en línea.

Los trabajos a publicar en CULCYT deben ser originales e inéditos. En este momento, la revista no tiene costos de publicación para los autores.

El acceso a la revista es libre, sin requerimientos, bajo lo establecido en la normatividad mexicana de acceso abierto, y se da a través de su sitio

<https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt>

o mediante el Repositorio Institucional de la UACJ

<http://ri.uacj.mx/vufind/>



Los artículos firmados son responsabilidad de sus autores.

Se autoriza la reproducción total o parcial, siempre y cuando se cite la fuente.

Información para autores:

<https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/autores>

Los contenidos e imágenes de la publicación están sujetos a una licencia CC 4.0 internacional BY NC.



CULCYT se fundó en diciembre de 2003 como parte del programa para la formación de investigadores del Instituto de Ingeniería y Tecnología.

Lanzó su primer número en abril de 2004. Fundador: Dr. Victoriano Garza Almanza. A partir de 2019, ha fungido como Editora en Jefe la Dra. Nelly Gordillo Castillo.



CULCYT. CULTURA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, vol. 18, núm. 3, septiembre-diciembre 2021, es una publicación académica, editada de manera cuatrimestral por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, a través del Instituto de Ingeniería y Tecnología. D.R. © UACJ, Avenida del Charro núm. 619 norte, C. P. 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Teléfono +52 (656) 6884848. Sitio OJS: erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt. Correo electrónico: culcyt@uacj.mx. Editora responsable: Dra. Nelly Gordillo Castillo. Reserva de derecho al uso exclusivo No. 04-2021-060118164700-203, ISSN (electrónico) 2007-0411, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

CONTENIDO

CONTENTS

Artículo de revisión

- Intermediación del conocimiento: Construyendo el puente para cerrar la brecha entre la investigación científica y la práctica **4**
Knowledge brokering: Building the bridge to close the gap between scientific research and practice

Trabajo galardonado

- Factores de Riesgo Asociados a Parásitos Gastrointestinales en Animales de Producción **12**
Risk Factors Associated with Gastrointestinal Parasites in Production Animals

Edición Especial “Innovación en el Diseño de Producto”

- Análisis de carga mental y error humano entre dos centros de lavado **E1**
Mental Load and Human Error Analysis Between Two Laundry Centers
- Posibilidades de nanocompuestos madera-plástico en el diseño de productos **E10**
Possibilities of wood-plastic nanocomposites in product design
- Evaluación de carga mental en tareas de cálculo mental bajo distintas temperaturas de iluminación **E31**
Mental work load assessment in mental calculation tasks under different lighting temperatures
- Diseño y Optimización del Timón de un Surcador Aplicando Elemento Finito y Templado Simulado **E41**
Design and Optimization of a Furrower Shank Using Finite Element and Simulated Annealing
- Metodología de Diseño de Prendas Usando Textiles Impresos en 3D con Filamento PET Reciclado **E50**
Garment Design Methodology Using 3D Printed Textiles with Recycled PET Filament

DOI: 10.20983/culcyt.2021.3.3.2

Intermediación del conocimiento: Construyendo el puente para cerrar la brecha entre la investigación científica y la práctica

Knowledge brokering: Building the bridge to close the gap between scientific research and practice

Saúl Manuel Favela-Camacho¹✉, Sarai Esmeralda Favela-Camacho², Gonzalo Hugo Favela-Camacho³

¹Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, ²Universidad Autónoma de Ciudad Juárez,

³University of Texas at El Paso

RESUMEN

La intermediación de conocimiento es una práctica en el cual se facilita la transferencia y el intercambio de información entre entidades que están interesadas en su aplicación en un contexto determinado. Hasta este momento, el concepto ha sido abordado ampliamente dentro de la literatura inglesa en el contexto de la administración y economía del conocimiento. Sin embargo, es probable que haya carencia de información en el contexto latinoamericano. El objetivo de este trabajo es reunir suficiente evidencia literaria para exponer la naturaleza del concepto de manera general contestando las siguientes preguntas: ¿Qué es la intermediación del conocimiento? ¿Qué tipo de conocimiento se intermedia? ¿Quiénes realizan el proceso de intermediación del conocimiento? ¿Cómo se lleva a cabo esta práctica? Para eso se realizó una revisión sistemática en cuatro bases de datos de contenido abierto (ERIC, DOAJ, Elsevier Scopus y Redalyc). Se analizaron trabajos y artículos de investigación, tomando en cuenta su calidad y pertinencia. Luego se extrajeron datos mediante el enfoque confirmatorio temático en base a las preguntas realizadas. Con base en 50 documentos revisados, se obtuvieron diferentes categorías conceptuales de respuesta para cada pregunta. La información extraída sirve para incrementar el conocimiento y la claridad del concepto dentro del campo de interés para los investigadores.

PALABRAS CLAVE: conocimiento; intermediación de conocimiento; transferencia de conocimiento; gestión del conocimiento; comunicación científica.

ABSTRACT

Knowledge brokering is a practice that facilitates the transfer and interchange of information between interested parties who want to apply it in a determined context. Until this moment, this concept has been addressed widely in English scientific literature under the framework of knowledge management and knowledge economy. However, it is possible there is lack of information under the Latin American context. The objective of this work is to gather enough literary evidence to expose the nature of the concept broadly answering the following questions: What is knowledge brokering? What kind of information is brokered? Who performs the knowledge brokering process? How is this practice performed? To answer those questions a systematic review was performed using three open-source data bases (ERIC, DOAJ, Elsevier Scopus and Redalyc). Research papers were analyzed, based on their quality and pertinence content. Then data was extracted through thematic confirmatory analysis based on the questions to be answered. By using 50 papers, different conceptual categories were identified for each question. The information resulted in this work will help researchers to increase the knowledge and clarity in the concept.

KEYWORDS: knowledge; knowledge brokering; knowledge transfer; knowledge management; scientific communication.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Saúl Manuel Favela-Camacho
INSTITUCIÓN: Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
DIRECCIÓN: 21 sur núm. 1103, Barrio de Santiago
C. P. 72410, Puebla, Puebla, México.
CORREO ELECTRÓNICO: saulmanuel.favela@upaep.edu.mx

Fecha de recepción: 27 de junio de 2021. **Fecha de aceptación:** 17 de diciembre de 2021. **Fecha de publicación:** 22 de diciembre de 2021.



I. INTRODUCCIÓN

El concepto “economía del conocimiento” es un término que se refiere a la tendencia de crear conocimiento para utilizarse como un factor determinante en los procesos productivos con el fin de alcanzar la prosperidad y competitividad, ya que se reconoce que su uso, producción y distribución como procesos son importantes para el desarrollo económico de determinada región [1]. También, el conocimiento se ha estado utilizando como un recurso clave que debe ser administrado de manera correcta para fomentar la innovación dentro de las organizaciones [2].

En la actualidad, las regiones están apostando por la economía del conocimiento para incrementar su riqueza, especialmente al que está asociado con la ciencia. Aunado a esto, se han presentado problemas complejos que han afectado a la sociedad en general. Por ejemplo, el caso de la pandemia de Covid-19 a nivel global trajo consigo una serie de cambios, especialmente en la manera de ver, percibir y actuar en la realidad, inclusive en las actividades cotidianas como el socializar, aprender y trabajar [3]. En la mayor parte de las veces, las soluciones a los problemas provienen del conocimiento científico generado por la investigación.

Sin embargo, ¿cómo pueden las organizaciones y la sociedad en general aplicar el conocimiento científico para su ventaja? Weiss [4] propuso un modelo de resolución de problemas en el cual la investigación científica es usada para resolver problemas específicos y tomar las mejores decisiones, ya que el conocimiento es capaz de informar y ofrecer alternativas, básicamente a través de la aplicación directa de los resultados de una investigación específica a una decisión pendiente, además de que proporciona evidencia empírica para resolver el problema o reducir el nivel de incertidumbre con relación a la decisión que se requiera tomar [5].

Debido a la expansión e incremento del conocimiento en los últimos años, nuevas profesiones laborales y modelos organizacionales han emergido o se han transformado, donde se da mayor peso o dependencia a las capacidades intelectuales más que los recursos naturales o físicos [6]. Además, el uso y distribución del conocimiento se manifiesta por medio de los procesos de externalización y combinación, los cuales son dependientes en la manera en cómo se entiende y se pone en práctica dicho conocimiento [7], [8]. Por tal motivo, han

surgido entidades que facilitan la creación, intercambio y uso del conocimiento, los cuales se les han denominado “intermediadores de conocimiento” o “brókeres de conocimiento” (*knowledge brokers*) [9].

Los “brókeres de conocimiento” o intermediarios tienen la función de establecer y mantener conexiones entre las entidades que generan el conocimiento y aquellas que la pueden utilizar, y son capaces de “traducir” de forma correcta el conocimiento generado a las partes interesadas ya sea en un ámbito público o privado [10]. ¿Por qué se necesita “traducir” el conocimiento? Esto se debe a que la literatura científica no está escrita en un lenguaje accesible para los tomadores de decisiones, la investigación científica en ocasiones falla en proporcionar información útil para los tomadores de decisiones, existe una brecha cultural entre los científicos y tomadores de decisiones, y siguen persistiendo algunos modelos lineales de transferencia de conocimiento que ya no son eficientes [11].

Dado que puede parecer que existe una aparente ausencia de literatura sobre la intermediación de conocimiento, este trabajo tiene como finalidad reunir evidencia sobre la naturaleza del concepto y su aplicación en el ámbito contextual actual, ofreciendo una alternativa de referencia bibliográfica.

Actualmente, este concepto pudiera ser ignorado o desconocido por personas que están involucradas en instituciones de investigación y desarrollo en México, incluyendo las de educación superior [12]. Además, el proceso de transferir el conocimiento generado por la investigación a la práctica o a las políticas públicas puede llegar a ser un proceso engorroso y complejo, en donde las partes interesadas desarrollan lenguajes e intereses muy diferentes y a veces incompatibles [13]. A esto también se le puede agregar el hecho de que el concepto de “intermediación de conocimiento” es muy amplio y existe bastante material solamente en el idioma inglés dentro del contexto de la administración y economía del conocimiento, pero en el idioma español la investigación es todavía escasa [14].

Por tal motivo, surge la necesidad de tener un referente de revisión literaria que sea relativa al concepto y de la temática de la “intermediación de conocimiento”, en la cual se utilice un lenguaje sencillo y actual al exponer la información consultada. Las preguntas que dirigieron la revisión de la temática son las siguientes: ¿Qué es la

intermediación del conocimiento? ¿Qué tipo de conocimiento se intermedia? ¿Quiénes realizan el proceso de intermediación del conocimiento? ¿Cómo se lleva a cabo esta práctica?

II. METODOLOGÍA

Una revisión sistemática se llevó a cabo con una estrategia de búsqueda bibliográfica utilizando cuatro bases de datos electrónicas de contenido libre relevante sobre el tema y, de preferencia, con fuentes bibliográficas escritas en el idioma inglés y español, siguiendo la sugerencia de Gómez-Luna *et al.* [15]. Para la revisión literaria del concepto se consultaron las siguientes bases de datos de acceso abierto: ERIC, DOAJ, Elsevier Scopus y Redalyc. Las palabras utilizadas para la búsqueda en el idioma español fueron “intermediación de conocimiento” en la base de datos Redalyc, dando como resultado 74 artículos, mientras que para la búsqueda en inglés se utilizaron las palabras “knowledge brokering” para las bases de datos ERIC, DOAJ y Elsevier Scopus, dando un total de 15, 23 y 7 artículos, respectivamente. La búsqueda incluyó solamente artículos redactados a partir del año 2000 a la fecha, con el fin de obtener información lo más actualizada posible.

Luego, se verificó la disponibilidad y calidad de los documentos arrojados por las bases de datos para identificar su pertinencia mediante el análisis de contenido temático de acuerdo con las preguntas realizadas que dirigieron la revisión [16]. Al final se analizaron solamente 13 artículos redactados en idioma español de la base de datos Redalyc, 14 de la base de datos ERIC, 16 del DOAJ y 7 de Elsevier Scopus redactados en idioma inglés.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

¿Qué es la intermediación del conocimiento?

La intermediación del conocimiento, como un subproceso derivado de la administración o gestión del conocimiento, implica la promoción de la conectividad entre las personas para el acceso al conocimiento, su generación y transformación en innovaciones [17]. Se percibe como un proceso multidimensional holístico que abarca una variedad de funciones dependiendo del contexto del trabajo [18]. Incluye las acciones y los procesos específicos de vinculación entre el sector científico y tecnológico con otras entidades, para la circulación y

difusión del conocimiento científico en la sociedad [19]. Por medio de la intermediación del conocimiento se facilitan la interacción, gestión, entendimiento, dominio y la traducción de evidencia científica a la práctica o en el diseño de políticas públicas que benefician a la sociedad [20]. Las actividades de la intermediación del conocimiento también abarcan el suministro de conocimiento y la mediación facilitando la interacción y colaboración entre investigadores y público en general [21]. En la Figura 1 se presenta un diagrama representando la interacción entre los actores de la intermediación del conocimiento.

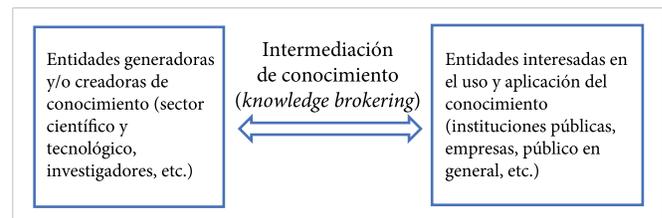


Figura 1. Representación de la interacción entre la intermediación del conocimiento.

¿Qué tipo de conocimiento se intermedia?

El tipo de conocimiento que se intermedia es aquel que se genera derivado de las actividades científicas de investigación y desarrollo (I & D) en diferentes áreas de conocimiento y aplicación, como por ejemplo en el sector salud [22], [23], [24]; en el ámbito de las ciencias de la educación [25]; en las ciencias de las energías renovables y agropecuarias [26], [27]; en las ciencias administrativas [28]; en la industria de la impresión de cómics [29]; en la industria de desarrollo de videojuegos [30] y ecología [31], [32], [33]. Aunque la bibliografía consultada se enfocó en esas áreas de conocimiento, la intermediación es multidisciplinaria [34], lo cual quiere decir que la práctica no es exclusiva a un área científica determinada, sino que puede ser aplicada a cualquier disciplina.

También se incluye toda la evidencia científica producida (reportes de investigación, artículos arbitrados, memorias, libros, textos científicos, etc.) de las actividades de I & D de las instituciones que se dedican a esa labor y que puede ser de utilidad para la sociedad [35]. Además, envuelve la información referente a prototipos, invenciones, patentes y tecnología desarrollada [30]. Se contempla, de igual manera, toda la información relacionada con tendencias tecnológicas, como por ejemplo la transformación digital [36].

En la **Figura 2** se muestran los productos del conocimiento científico que se intermedia.

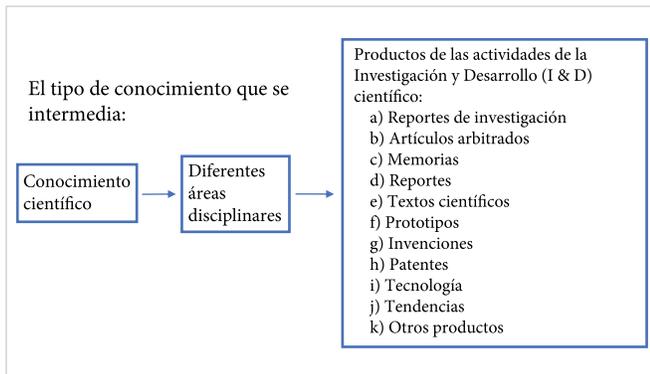


Figura 2. Representación gráfica del conocimiento que se intermedia.

¿Quiénes realizan la intermediación de conocimiento?

Las entidades que realizan la intermediación de conocimiento se les conoce como intermediadores o brókeres. Pueden ser individuos, organizaciones [10], [20] o profesionales [30], [37] orientados a facilitar la comunicación entre los investigadores y tomadores de decisiones en cualquier área de conocimiento [25], [38], [39], [40]. Se incluyen en esta clasificación a las universidades e instituciones de educación superior como entidades principales en la colaboración y disseminación del conocimiento mediante funciones sustantivas académicas, investigación y vinculación con la sociedad [41], [42], [43]. También abarca las jerarquías organizacionales como, por ejemplo, los gerentes o mandos medios y supervisores [44]. Pueden ser, además, centros de investigación [45], investigadores, consejeros técnicos de organizaciones gubernamentales, consejeros privados o estructuras institucionales específicas [21], oficinas de transferencia de tecnología dentro de las universidades [46], departamentos dentro de instituciones u organizaciones [47], [28], grupos y roles formalizados [48] y centros de innovación [36].

¿Cómo se lleva a cabo esta práctica?

Los intermediadores de conocimiento llevan a cabo su función mediante la aplicación de determinadas prácticas. Primero, deben entender el contexto político, social y económico de sus interlocutores, creando confianza, permitiendo la co-construcción (generación de conocimiento con otros individuos) y movilidad del conocimiento y el desarrollo de una cultura adecuada

para todos los participantes, utilizando diferentes medios de difusión (medios de comunicación impresos y electrónicos) [40]. También se lleva a cabo mediante la comunicación directa entre individuos [17] o cuando el conocimiento especializado es transformado en información que pueda ser comprendida por otros, utilizando un lenguaje comprensible [49].

Para la difusión o disseminación del conocimiento desde el sistema científico y tecnológico, se recurre a la vinculación y transferencia, utilizando medios de comunicación, sistemas educativos y profesiones [19], e incluye además procesos de almacenamiento, manipulación y oferta de conocimiento [50], proporcionando asistencia o ayuda cuando se necesita consultar y buscar información [51]. Actúan como facilitadores en la transferencia e intercambio de información relevante a partes interesadas [20] y realizan conexiones y colaboraciones para el intercambio de información, ayudando a los grupos interesados a comunicar y entender sus necesidades y habilidades, monitoreando y evaluando la utilización del conocimiento, sintetizando y resumiendo información relativa a la investigación para la toma de decisiones [52], [53].

También utilizan habilidades y competencias comunicativas para diagnosticar, facilitar, deliberar e interpretar información [54]; hacen uso de herramientas de disseminación de evidencia científica atractivas y hechas a la medida a la audiencia objetivo, incluyendo apoyo en términos de adquirir, evaluar, interpretar y aplicar el conocimiento [55]; aplican habilidades para sintetizar y traducir de manera transdisciplinaria y holística la información [21]; y facilitan o gestionan los procesos de la creación, la difusión y el uso del conocimiento, fomentando la colaboración entre los creadores y los usuarios, y también entrenan y preparan a los usuarios a desarrollar habilidades del uso, adaptación y construcción del conocimiento [56].

Finalmente, están envueltos en la coordinación, la alineación entre perspectivas y en el desarrollo de habilidades de negociación. En otras palabras, los intermediarios del conocimiento articulan, comunican, identifican, median y educan [5], [57].

IV. CONCLUSIONES

La importancia y valor de la intermediación de conocimiento se demuestra mediante la existencia de diver-

sas fuentes bibliográficas a nivel internacional, el cual hace patente que es un tema abordado por la comunidad científica, llegando a considerarse como un puente que existe para cerrar la brecha entre el conocimiento generado y su aplicación práctica ante la resolución de problemas.

También se hace evidente que el concepto es demasiado amplio y complejo que puede ser abordado desde diversas perspectivas multidisciplinarias, ya que su aplicación práctica no tiene fronteras. Por ejemplo, convendría revisar aspectos de la intermediación desde la perspectiva de las teorías de conocimiento, aprendizaje, ciencias de la comunicación, didáctica, enseñanza, relaciones humanas, comportamiento organizacional, administración de recursos humanos, administración de la tecnología, economía, políticas públicas, psicología comunitaria y social, por citar algunas. Aunado a eso, se pueden considerar aspectos únicos y determinantes de cada área de conocimiento que influyen en su aplicación, como, por ejemplo, de qué manera se utiliza la intermediación del conocimiento para la ingeniería biomédica, cuál es su eficacia, pertinencia, dinámica de relaciones entre actores, etc.

Para el caso de México, la información puede servir como guía para investigar el fenómeno en el futuro a nivel regional y también en su aplicación en diversas áreas científicas, considerando los contextos generales y particulares desde lo social, político y económico.

REFERENCIAS

- [1] T. Hogan, "An Overview of the Knowledge Economy, with a Focus on Arizona", ag. 2011.
- [2] E. Rahimi, N. A. Rostami, F. S. Shad y V. Vifaei, "The importance of knowledge management on innovation", *Appl. math. eng. manage. technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 68-73, 2017.
- [3] M. H. Nguyen, J. Gruber y J. Fuchs, "Changes in Digital Communication During the COVID-19 Global Pandemic: Implications for Digital Inequality and Future Research", *Soc. Media Soc.*, vol. 6, no. 3, pp. 1-6, jul. 2020, doi: 10.1177/2056305120948255.
- [4] C. Weiss, "The Many Meanings of Research Utilization", *Public Adm Rev*, vol. 39, no. 5, 1979, doi: 10.2307/3109916.
- [5] A. B. Hargadon, "Brokering knowledge: Linking learning and innovation", *Res Organ Behav*, vol. 24, pp. 41-85, 2002, doi: 10.1016/S0191-3085(02)24003-4.
- [6] W. W. Powell y K. Snellman, "The Knowledge Economy", *Annu Rev Sociol*, vol. 30, pp. 199-220, 2004, doi: 10.1146/annurev.soc.29.010202.100037.
- [7] M. E. Jennex, "What is Knowledge Management?", en *Knowledge Management in Modern Organizations*, M. E. Jennex, Ed., San Diego: Idea Group Inc., 2007, cap. 1, pp. 1-9, doi: 10.4018/9781599042619.ch001.
- [8] G. Oldham y R. McLean, "Approaches to Knowledge-Brokering", 1997. [En línea]. Disponible: https://www.iisd.org/system/files/publications/networks_knowledge_brokering.pdf. [Accesado: 13- abril- 2021].
- [9] A. Sverrisson, "Translation networks, knowledge brokers and novelty construction: Pragmatic environmentalism in Sweden", *Acta Sociol.*, vol. 44, no. 4, pp. 313-327, 2001, doi: 10.1080/00016990152696402.
- [10] M. Meyer, "The Rise of the Knowledge Broker", *Sci Commun*, vol. 32, no. 1, pp. 118-127, 2010, doi: 10.1177/1075547009359797.
- [11] G. J. Hering, "Do we need 'more research' or better implementation through knowledge brokering?", *Sustain Sci*, vol. 11, pp. 363-369, 2016, doi: 10.1007/s11625-015-0314-8.
- [12] M. A. Jaso (2011) "El surgimiento de nuevos intermediarios para la innovación en México", en *Dinámicas Institucionales y Políticas de Innovación en México*, A. Martínez, D. Villavicencio y P. López, (Coords.), México: CONCYTEG / Plaza y Valdés / UAM Xochimilco, 2011, pp. 19-44.
- [13] M. Casalet, "Las relaciones de colaboración entre la universidad y los sectores productivos: una oportunidad a construir en la política de innovación", en *Dilemas de la innovación en México. Dinámicas sectoriales, territoriales e institucionales*, A. Hualde, D. Villavicencio y J. Carrillo, Eds., Tijuana: COLEF, 2012, pp. 109-142.
- [14] M. d. P. M. Pérez-Hernández, "Las organizaciones intermediarias en los procesos de innovación de México", *Perf. Latinoam.*, vol. 24, no. 48, pp. 161-183, 2016, doi: 10.18504/pl2448-007-2016.

- [15] E. Gómez-Luna, D. Fernando-Navas, G. Aponte-Mayor y L. A. Betancourt-Buitrago, "Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización", *Dyna*, vol. 81, no. 184, pp. 158-163, 2014.
- [16] A. Lacey y D. Luff, *Qualitative Research Analysis*. The NIHR RDS for the East Midlands / Yorkshire & the Humber, 2007.
- [17] M. Flores Urbáez y R. Ramírez Omaña, "Intermediación de conocimiento: proceso de la gestión del conocimiento en cooperativas agropecuarias venezolanas", *Rev. Venez. de Gerencia*, vol. 16, no. 55, pp. 458-473, 2011.
- [18] J. Rodway, "Connecting the Dots: Understanding the Flow of Research Knowledge within A Research Brokering Network", *Educ. Policy Anal. Arch.*, vol. 23, no. 123, pp. 1-27, 2015, doi: [10.14507/epaa.v23.2180](https://doi.org/10.14507/epaa.v23.2180).
- [19] M. E. Estébanez, "Conocimiento científico y políticas públicas: un análisis de la utilidad social de las investigaciones científicas en el campo social", *Espacio Abierto*, vol. 13, no. 1, pp. 7-37, 2004.
- [20] J. Rodway, "Coaching as a Knowledge Mobilization Strategy: Coaches' Centrality in a Provincial Research Brokering Network", *Int. J. Leadersh. Educ.*, vol. 14, no. 5, pp. 1-18, 2019, doi: [10.22230/ijep.2019v14n5a864](https://doi.org/10.22230/ijep.2019v14n5a864).
- [21] D. F. McGonigle et al., "A knowledge brokering framework for integrated landscape management", *Front. Sustain. Food Syst.*, vol. 4, no. 13, pp. 1-20, 2020, doi: [10.3389/fsufs.2020.00013](https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00013).
- [22] M. Haworth-Brockman y Y. Keyan, "Knowledge brokering on infectious diseases for public health", *Can. commun. dis. rep.*, vol. 47, no. 3, pp. 161-165, 2021, doi: [10.14745/ccdr.v47i03a06](https://doi.org/10.14745/ccdr.v47i03a06).
- [23] L. Godfrey, N. Funke y C. Mbizvo, "Bridging the science-policy interface: A new era for South African research and the role of knowledge brokering", *S. Afr. J. Sci.*, vol. 106, no. 5-6, pp. 1-8, 2010, doi: [10.4102/sajs.v106i5/6.247](https://doi.org/10.4102/sajs.v106i5/6.247).
- [24] T. C. Norton, C. Howell y C. Reynolds. "Exploratory study of the role of knowledge brokers in translating knowledge to action following global maternal and newborn health technical meetings", *Public Health*, vol. 140, pp. 235-243, 2016, doi: [10.1016/j.puhe.2016.04.012](https://doi.org/10.1016/j.puhe.2016.04.012).
- [25] G. Anderson, N. Gray-Nicolas y M. Payton, "Education Faculty as Knowledge Brokers: Competing for Access to New York State Print Media and Policy Influence", *Educ. Policy Anal. Arch.*, vol. 29, no. 12, pp. 1-26, 2021, doi: [10.14507/epaa.29.5648](https://doi.org/10.14507/epaa.29.5648).
- [26] N. Apostolopoulos, K. J. Chalvatzis, P. G. Liargovas, R. Newbery y E. Rokou, "The role of the expert knowledge broker in rural development: Renewable energy funding decisions in Greece", *J Rural Stud*, vol. 78, pp. 96-106, 2020, doi: [10.1016/j.jrurstud.2020.06.015](https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.06.015).
- [27] C. Adelle, "Contextualising the tool development process through a knowledge brokering approach: The case of climate change adaptation and agriculture", *Environ Sci Policy*, vol. 51, pp. 316-324, 2015, doi: [10.1016/j.envsci.2014.08.010](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.08.010).
- [28] S. Pemsel y A. Wiewiora, "Project management office a knowledge broker in project-based organizations", *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 31, no. 1, pp. 31-42, 2013, doi: [10.1016/j.ijproman.2012.03.004](https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.03.004).
- [29] C. Boari y F. Riboldazzi, "How knowledge brokers emerge and evolve: The role of actors' behaviour", *Res Policy*, vol. 43, pp. 683-695, 2014, doi: [10.1016/j.respol.2014.01.007](https://doi.org/10.1016/j.respol.2014.01.007).
- [30] P. Chiambaretto, D. Massé y N. Mirc, "All for One and One for All? - Knowledge broker roles in managing tensions of internal competition: The Ubisoft case", *Res Policy*, vol. 48, no. 3, pp. 584-600, 2019, doi: [10.1016/j.respol.2018.10.009](https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.10.009).
- [31] T. M. Koontz, "Science and scale mismatch: Horizontal and vertical information sharing in the Puget Sound polycentric governance system", *J. Environ. Manage.*, vol. 290, 2021, doi: [10.1016/j.jenvman.2021.112600](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112600).
- [32] S. Maag, T. J. Alexander, R. Kase y S. Hoffmann, "Indicators for measuring the contributions of individual knowledge brokers", *Environ Sci Policy*, vol. 89, pp. 1-9, 2018, doi: [10.1016/j.envsci.2018.06.002](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.06.002).
- [33] P. Melindi-Ghidi, T. Dedeurwaerdere y G. Fabbri, "Using environmental knowledge brokers to promote deep

- green agri-environment measures”, *Ecol Econ*, vol. 176, 2020, doi: 10.1016/j.ecolecon.2020.106722.
- [34] R. Urquhart, G. A. Porter y E. Grunfeld, “Reflections on knowledge brokering within a multidisciplinary research team”, *J Contin Educ Health Prof*, vol. 31, no. 4, pp. 283-290, 2011, doi: 10.1002/chp.20128.
- [35] C. Dagenais, T. D. Somé, M. Boileau-Falardeau, E. McSween-Cadieux y V. Ridde, “Collaborative development and implementation of a knowledge brokering program to promote research use in Burkina Faso, West Africa”, *Glob Health Action*, vol. 8, no. 1, 2015, doi: 10.3402/gha.v8.26004.
- [36] J. A. Leahy y J. P. Lane, “Knowledge from Research and Practice on the Barriers and Carriers to Successful Technology Transfer for Assistive Technology Devices”, *Assistive Technology Outcomes and Benefits*, vol. 6, no. 1, pp. 73-86, 2010.
- [37] A. Crupi, N. Del Sarto, A. Di Minin, G. L. Gregori, D. Lepore, L. Marinelli y F. Spigarelli, “The digital transformation of SMEs - a new knowledge broker called the digital innovation hub”, *J. Knowl. Manag.*, vol. 24, no. 6, pp. 1263-1288, 2020, doi: 10.1108/JKM-11-2019-0623.
- [38] A. Johri, “Boundary spanning knowledge broker: An emerging role in global engineering firms”, *2008 38th Annual Frontiers in Education Conference*, 2008, pp. S2E-7-S2E-12, doi: 10.1109/FIE.2008.4720407.
- [39] S. Cueto, “Desarrollo de políticas educativas basadas en evidencias y uso de la información empírica por tomadores de decisiones”, *REICE*, vol. 4, no. 1, pp. 1-5, 2006.
- [40] S. Escobedo-Guerrero, “Construcción de un modelo de trabajo de gestión documental en la organización, en el contexto de la actividad archivística”, *Diálogos Revista Electrónica de Historia*, vol. 4, no. 1, 2003.
- [41] D. J. Phipps, D. Brien, L. Echt, G. Kyei-Mensah y V. Weyrauch, “Determinants of successful knowledge brokering: A transnational comparison of knowledge-intermediary organizations”, *Research for All*, vol. 1, no. 1, pp. 185-197, 2017, doi: 10.18546/RFA.01.1.15.
- [42] E. Romero-Riaño y A. D. Pertuz-Comas, “Colaboración científica en investigación agrícola en Colombia”, *Revista UIS Ingenierías*, vol. 18, no. 3, pp. 7-14, 2019, doi: 10.18273/revuin.v18n3-2019022.
- [43] L. Hernández, “Interculturalidad y gestión del conocimiento: un campo en construcción para la educación superior ecuatoriana”, *Chakiñan*, no. 13, pp. 155-166, 2021, doi: 10.37135/chk.002.13.10.
- [44] L. D. Fernández-Barrera y A. E. Soto-Soto, “Gestión del sistema tecnológico de contenidos en la modalidad de educación a distancia”, *Opción*, vol. 31, no. 6, pp. 261-283, 2015.
- [45] G. Currie, N. Burgess, L. White, A. Lockett, J. Gladman y J. Waring, “The knowledge brokering role of middle level managers (MLMs) in service innovation: Managing the translation gap in patient safety for elderly care”, *Health Serv Res*, vol. 2, no. 32, 2014, doi: 10.3310/hsdr02320.
- [46] P. van der Graaf, J. Shucksmith, R. Rushmer, A. Rhodes y M. Welford, “Performing collaborative research: a dramaturgical reflection on an institutional knowledge brokering service in the Northeast of England”, *Health Res. Policy Syst.*, vol. 17, no. 49, pp. 1-9, 2019, doi: 10.1186/s12961-019-0449-7.
- [47] C. G. Naranjo-Herrera, “Dirección de recursos humanos y gestión del conocimiento en la organización”, *Ánfora*, vol. 16, no. 27, pp. 199-229, 2009, disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/3578/357834259012.pdf>.
- [48] S. Shewchuk y A. Cooper, “Exploring equity in Ontario: A provincial scan of equity policies across school boards”, *Can. J. Educ.*, vol. 41, no. 4, pp. 917-953, 2018.
- [49] A. Rodríguez Orejuela, M. Hernández Espallardo y A. Rodríguez Ramírez, “Las precondiciones para la transferencia de conocimiento y desempeño en relaciones cliente-proveedor”, *Pensamiento & Gestión*, no. 30, pp. 58-92, 2011.
- [50] A. Balanzó, A. P. Ariza Porras, D. Quiroga y Á. Gómez Ramírez, “Circo y teatro para la transformación social: Repertorios de conocimiento y acción en la construcción de entornos protectores y la promoción de derechos de los niños, niñas y adolescentes”, *Calle 14 Revista de Investigación en el Campo del Arte*, vol. 15, no. 27, pp. 168-178, 2020, doi: 10.14483/21450706.15419.

- [51] J. Calzada-Prado y M. A. Marzal, “Library and information professionals as knowledge engagement specialists. Theories, competencies and current educational possibilities in accredited graduate programmes”, en *Proceedings of the Eighth International Conference on Conceptions of Library and Information Science*, (Copenhague, Dinamarca), 2013.
- [52] L. Robertson, “More than a broker: a case study of knowledge mobilization in a digital era”, en *12th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age*, 2015.
- [53] V. Ridde, C. Dagenais y M. Boileau-Falardeau, “An Exploratory Synthesis of Knowledge Brokering in Public Health”, *Santé Publique*, vol. 25, no. 2, pp. 137-145, 2013, doi: [10.3917/spub.132.0137](https://doi.org/10.3917/spub.132.0137).
- [54] G. Moore, S. Redman, P. Butow y A. Haynes, “Deconstructing knowledge brokering for commissioned rapid reviews: an observational study”, *Health Res. Policy Syst.*, vol. 16, no. 120, 2018, doi: [10.1186/s12961-018-0389-7](https://doi.org/10.1186/s12961-018-0389-7).
- [55] E. Mc Sween-Cadieux, C. Dagenais, D. T. Somé y V. Ridde, “A health knowledge brokering intervention in a district of Burkina Faso: A qualitative retrospective implementation analysis”, *Plos One*, vol. 14, no. 7, pp. 1-21, 2019, doi: [10.1371/journal.pone.0220105](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220105).
- [56] V. L. Ward, A. O. House y S. Hamer, “Knowledge brokering: Exploring the process of transferring knowledge into action”, *BMC Health Serv. Res.*, vol. 9, no. 12, pp. 1-6, 2009, doi: [10.1186/1472-6963-9-12](https://doi.org/10.1186/1472-6963-9-12).
- [57] A. Cooper y S. Shewchuk, “Knowledge Brokers in Education: How Intermediary Organizations Are Bridging the Gap Between Research, Policy and Practice Internationally”, *Educ. Policy Anal. Arch.*, vol. 23, no. 118, 2015, doi: [10.14507/epaa.v23.2355](https://doi.org/10.14507/epaa.v23.2355).

Factores de Riesgo Asociados a Parásitos Gastrointestinales en Animales de Producción

Risk Factors Associated with Gastrointestinal Parasites in Production Animals

E. G. Quiroga-Calderón¹, A. B. Gatica-Colima¹, Z. Carlo-Rojas¹

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

RESUMEN

El análisis de los factores de riesgo que afectan la salud de los animales incluye la identificación de organismos parásitos y su posible efecto en la salud y entorno del animal. El objetivo de este estudio es identificar y evaluar el impacto de los factores de riesgo que están asociados a la prevalencia de parásitos gastrointestinales en animales de producción del Rancho Universitario de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez durante la temporada de verano de 2020, por medio de la Matriz de Leopold combinada con los Criterios Relevantes Integrados (CRI). Las prevalencias por géneros de helmintos fueron: *Trichostrongylus* (66%) y *Strongyloides* (16%) en bovinos, *Haemonchus* (40%) en ovinos, *Strongyloides* (66%) en porcinos, *Strongylus* (100%) y *Cyathostomum* (66%) en equinos y *Ascaris* (100%) en gallinas. La implementación propuesta de estas metodologías adaptadas a las condiciones complejas y particulares permitió identificar y categorizar el impacto de los factores de riesgo en la salud de los animales de producción. Ausencia de pediluvio, falta de desparasitación y animales nuevos sin cuarentena resultaron factores de riesgo de tipo severo, los cuales afectaron a todos los grupos de animales del sitio de estudio, por lo que requirieron atención prioritaria.

PALABRAS CLAVE: helminto; análisis de riesgo; impacto; salud.

ABSTRACT

The analysis of risk factors affecting the health of animals includes the identification of parasitic organisms and their possible effect on the health and environment of the animal. This study was aimed to identify and evaluate the impact of risk factors associated with the prevalence of gastrointestinal parasites in production animals of the University Ranch of the Universidad Autónoma de Ciudad Juárez during the 2020 summer season using the Leopold's Matrix combined with the Integrated Relevant Criteria. The prevalences by genus of helminths were: *Trichostrongylus* (66%) and *Strongyloides* (16%) in cattle, *Haemonchus* (40%) in sheep, *Strongyloides* (66%) in pigs, *Strongylus* (100%) and *Cyathostomum* (66%) in horses and *Ascaris* (100%) in chickens. The proposed implementation of these methodologies adapted to complex and particular conditions made it possible to identify and categorize the impact of risk factors on the health of production animals. Absence of footbath, lack of deworming and new animals without quarantine were risk factors of a severe type, which affected all groups of animals in the study site, therefore requiring priority attention.

KEYWORDS: helminth; risk analysis; impact; health.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Zarahelia Carlo Rojas

INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez /
Instituto de Ciencias Biomédicas

DIRECCIÓN: Anillo Envolverte del Pronaf y Estocolmo s/n, col.
Progresista, C. P. 32310, Ciudad Juárez, Chih., México

CORREO ELECTRÓNICO: zarahelia.carlo@uacj.mx

Fecha de recepción: 14 de septiembre de 2021. **Fecha de aceptación:** 25 de septiembre de 2021. **Fecha de publicación:** 1 de octubre de 2021.



*El presente artículo se deriva de la investigación "Factores de riesgo asociados a la prevalencia de parásitos gastrointestinales en animales de producción del Rancho Universitario de la UACJ", de Elkin Giovanni Quiroga Calderón, la cual fue galardonada por la Coordinación General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez por ser el mejor trabajo del Coloquio Institucional de Posgrado 2020, en la mesa Procesos Productivos.

I. INTRODUCCIÓN

El análisis de los factores de riesgo que afectan la salud de los animales permite la identificación de un agente infeccioso y su posible impacto en la salud y el entorno [1], así como la adopción de medidas de control para reducir el riesgo y aumentar la bioseguridad [2]. Un factor de riesgo es considerado como la posibilidad de padecer un suceso de tipo perjudicial que afecta la salud de un individuo [3].

Un agente infeccioso puede ser un parásito gastrointestinal que puede causar síntomas de malestar, pérdida de peso, diarrea, anemia y edema [4]. Algunos de estos parásitos suelen ser zoonóticos, lo cual representa una problemática de salud pública [5].

Dentro de los parásitos gastrointestinales que afectan a las distintas especies animales se encuentran los helmintos, que infectan a una gran cantidad de especies domésticas y silvestres que, a su vez, funcionan como hospederos [6]. Otros parásitos son los protozoos, de ambientes acuáticos y suelo [7], cuyas infecciones ocasionan problemas de salud animal y pérdidas económicas [8].

Obanda *et al.* [9] mencionan que la convivencia e interacción dentro de un mismo hábitat entre diversas especies animales e incluso la humana, pueden contribuir al riesgo de transmisión parasitaria gastrointestinal. Duffy *et al.* [10] señalan que cuando diversas especies hospederas llegan a compartir recursos dentro de un mismo hábitat, especialmente agua y pasto, esta interacción puede influir en las tasas de contacto y transmisión parasitaria debido a que las etapas infecciosas de los parásitos a menudo se dispersan fecalmente en el ambiente y dependen de las condiciones climáticas y ambientales para su propagación, persistencia y transmisión.

En el Valle de Juárez, Chihuahua, México, se encuentra el Rancho Universitario de la Universidad Autónoma de Ciudad (RU-UACJ), en el que coexisten diferentes especies en sistemas de producción animal. Ahí se puso a prueba una metodología para evaluar el impacto de los factores de riesgo asociados a la prevalencia de parásitos gastrointestinales en los animales de producción durante el verano de 2020, lo cual ayudará a establecer un modelo de control que disminuya el riesgo potencial detectado. Este trabajo presenta un avance de un estudio de mayor lapso.

II. METODOLOGÍA

A. Ubicación del área de estudio

El desarrollo del estudio se llevó a cabo en el RU-UACJ, situado en el Valle de Juárez, municipio de Praxedis G. Guerrero, Chihuahua, en el km 64 de la vía Juárez-Portvenir. La zona presenta una altitud de 1090 msnm y coordenadas geográficas de referencia 31° 21' 20" N y 105° 59' 59" O [11].

El RU-UACJ se caracteriza por ser un recinto multidisciplinar en áreas agropecuarias y cuenta con animales de producción como bovinos, ovinos, caprinos, porcinos, equinos y aves de corral [12].

B. Identificación de parásitos gastrointestinales en muestras de excremento

Durante tres días consecutivos del verano de 2020 se tomaron las muestras de excremento de bovinos, ovinos, caprinos, porcinos, equinos y asno recolectadas directamente del recto de los animales, utilizando guantes para minimizar cualquier tipo de contaminación. En las gallinas se recolectó del piso una muestra compuesta de excremento después de la defecación espontánea.

Las muestras se depositaron en bolsas de polietileno rotuladas y refrigeradas en hielera a una temperatura de 4 °C [13]. Posteriormente, se transportaron al Laboratorio de Ciencias Básicas de la División Multidisciplinaria de la UACJ en Nuevo Casas Grandes, donde se les aplicó las técnicas coproparasitoscópicas de Faust, sedimentación y McMaster [14]. En la Tabla 1 se detalla el número de muestras de excremento recolectado de los animales de producción, lo cual se determinó por medio de la fórmula para población finita [15].

TABLA 1
NÚMERO DE MUESTRAS DE EXCREMENTO

ANIMALES DE PRODUCCIÓN	NÚMERO DE MUESTRAS
Bovinos	12
Ovinos	15
Caprinos	13
Porcinos	6
Equinos	3
Asnales	1
Gallinas	1 muestra compuesta

Mediante la Ecuación (1) se determinó el porcentaje de prevalencia para cada grupo animal [16].

$$P = \left(\frac{n}{N}\right) \cdot 100 \quad (1)$$

donde P = prevalencia, n = número de animales positivos, N = total de animales.

C. Identificación y determinación de los factores de riesgo

La identificación y determinación de los factores de riesgo se realizó mediante una evaluación de bienestar animal, basada en los principios de libertad de Welfare Quality [17]. Para ello, solo se tuvo en cuenta siete criterios que pueden estar asociados a una infección parasitaria gastrointestinal, condición corporal, limpieza de bebederos, estiércol en el cuerpo, limpieza y comodidad alrededor de la zona de descanso, cojeras, heridas en el cuerpo e infecciones locales, asignando un valor de 1, 3 y 5. De acuerdo a la escala valorativa, “1” corresponde a una situación negativa, es decir, no puede haber más deficiencias en el bienestar; “3” corresponde a una situación neutral y “5” a una situación positiva. Cabe resaltar que para el criterio de condición corporal se valoró lo siguiente: animales con condición corporal normal “3”, animales con condición corporal delgada “1” y animales con condición corporal con sobrepeso “5”.

Asimismo, se utilizó una lista de revisión [18], a partir de la literatura, en cuanto a prácticas que pueden generar un cuadro de infección parasitario gastrointestinal, entre ellas ausencia de tapete sanitario, no desparasitación, animales nuevos sin previa cuarentena, manejo inadecuado de animales muertos, manejo inadecuado de animales heridos, accesibilidad con fauna silvestre y pastoreo mixto. Estas se cotejaron en el RU-UACJ para comprobar o descartar su aplicabilidad.

Todos los criterios y prácticas identificados como inadecuados se determinaron como factores de riesgo y se incluyeron en una matriz para evaluar su impacto y conocer su grado de severidad sobre los animales de producción del RU-UACJ.

D. Evaluación de impacto

Se evaluaron los impactos de los factores de riesgo aplicando el método de Matriz de Leopold combinado con los Criterios Relevantes Integrados formulado por Burroz en 1994 (citado por [19]), para lo cual se asignaron

valores a los factores de riesgo de acuerdo a los criterios de Intensidad (I), Extensión (E), Duración (D), Reversibilidad (R) e Incidencia (G), en una escala de valores comprendida entre 1 y 10 para todos los criterios, con más impacto para valores altos [19].

Para la asignación de los valores de cada factor, se procedió a calcular su Magnitud (M) [Ecuación (2)] y el Valor del Índice Ambiental (VIA) o importancia de cada factor [Ecuación (3)]. Cabe resaltar que cada criterio tiene asignado un valor de peso, establecido de acuerdo a la metodología desarrollada en Gayoso [19] (Tabla 2).

$$M = (I \cdot WI) + (E \cdot WE) + (D \cdot WD) \quad (2)$$

$$VIA = (R^{WR} \cdot G^{WG} \cdot M^{WM}) \quad (3)$$

TABLA 2
VALORES DE PESO PARA CADA CRITERIO, MÉTODO DE CRITERIOS RELEVANTES INTEGRADOS [19]

CRITERIO	CLAVE	VALOR DE PESO
Intensidad	WI	0.40
Extensión	WE	0.40
Duración	WD	0.20
Reversibilidad	WR	0.22
Incidencia	WG	0.17
Magnitud	WM	0.61

Por último, se procedió a calcular la severidad (S) de cada factor mediante la Ecuación (4).

$$S = M \cdot VIA \quad (4)$$

La S de impacto de un factor de riesgo se calificó de acuerdo a la siguiente escala:

Leve	1-5
Moderado	6-15
Severo	16-39
Crítico	40-100

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Identificación de parásitos gastrointestinales en los animales de producción del RU-UACJ

Se analizaron 51 muestras de excremento, identificando seis géneros de parásitos gastrointestinales del filo Nematoda, de las cuales 22 fueron positivas a uno o dos géneros, representando el 43.1%, mientras que 29

muestras fueron negativas 56.9%. Cuatro muestras fueron positivas a dos géneros, representando el 7.9%, y 18 muestras fueron positivas a un solo parásito, representando el 35.2%. En la Tabla 3 se describe la identificación de los géneros de parásitos gastrointestinales hallados durante la estación de verano de 2020 y sus respectivos porcentajes de prevalencia parasitaria.

TABLA 3
IDENTIFICACIÓN Y PREVALENCIA DE HUEVOS DE PARÁSITOS
(VERANO 2020)

ANIMALES DE PRODUCCIÓN	GÉNERO DE PARÁSITO	PARASITADO / NO PARASITADO	PREVALENCIA (%)
Gallinas	<i>Ascaris</i>	+	100
Equinos	<i>Strongylus</i>	3/0	100
	<i>Cyathostomum</i>	2/1	66
Porcinos	<i>Strongyloides</i>	4/2	66
Bovinos	<i>Trichostrongylus</i>	8/4	66
	<i>Strongyloides</i>	2/10	16
Ovinos	<i>Haemonchus</i>	6/9	40
Caprinos	-	0/13	-
Asno	-	0/1	-

Símbolos: -, no se reportaron parásitos; +, solo se reportó como positivo.

Los géneros de parásitos que predominaron con prevalencias de 100% fueron *Strongylus* en équidos y *Ascaris* en gallinas.

Durante la revisión de literatura en la región se encontró información de parásitos gastrointestinales en coyotes [20], agua [21], ganado lechero [22], comunidades de personas [23] y grandes felinos en cautiverio [24]. Estos registros permiten establecer la presencia en la zona de los diversos helmintos, en una amplia de hospederos y en el ambiente.

La detección de *Strongyloides* en porcinos y bovinos fue de 66% y 16% en el presente estudio, en coincidencia con lo reportado por Petters [20], en coyotes en el Área Natural Protegida Médanos de Samalayuca, Chihuahua, México, en la temporada cálida de 2019. Aunque son diferentes especies y cargas parasitarias, el hallazgo de este helminto en ambos estudios evidencia que es común en la zona e infecta a una diversidad de vertebrados. Por tal razón, la interacción entre animales de producción y fauna silvestre hace factible una transmisión parasitaria. La presencia de este parásito en los bovinos y porcinos del RU-UACJ probablemente se relacione con los coyotes que normalmente frecuentan los alrededores y algunas áreas del RU-UACJ, lo que

puede favorecer a una transmisión bidireccional entre los animales de producción y silvestres [6]. Otra razón puede ser que la forma de transmisión es percutánea; los animales de producción en el RU-UACJ permanecen la mayoría del tiempo confinados y la limpieza de los corrales es inconstante, lo cual favorece a un mayor riesgo de infección en los animales.

En este estudio, la presencia a huevos de *Ascaris* resultó positiva en la muestra compuesta de gallinas. De acuerdo con los resultados de Maya [21], fue el género de huevos de helminto más frecuente en agua tratada, residual y de uso agrícola en Nuevo Casas Grandes, Chihuahua, región cercana que comparte similar clima. Otros géneros reportados en agua en ese trabajo fueron *Toxocara*, *Hymenolepis*, *Dipylidium*, *Fasciola*, *Taenia* y *Necator*, aunque por la alta frecuencia presentada, *Ascaris* se ubicó entre los riesgos a la salud en relación al contacto con agua tratada o residual empleada en sistemas de producción agropecuarios. Resulta recomendable un monitoreo de las aguas empleadas en la irrigación para caracterizar, en su caso, la infestación por calidad del agua y minimizar riesgos.

En contraste con los géneros parasitarios obtenidos en el presente estudio con enfoque a helmintos, Quezada et al. [22] trabajaron con métodos dirigidos a protozoarios en Ciudad Juárez, Chihuahua, México, y reportaron ooquistes de Coccidias en becerras post destete, con una prevalencia del 62% durante el otoño de 2013. Generalmente, este parásito afecta al ganado bovino en sistemas intensivos, siendo los semovientes jóvenes los más susceptibles debido a factores extrínsecos e intrínsecos del animal [25].

Por otro lado, Flores et al. [23], en el Valle de Juárez, Chihuahua, México, realizaron un estudio epidemiológico en personas, en el que reportaron prevalencias de *Giardia lamblia*, con un 67.18%, seguido por *Cryptosporidium parvum*, 34.37%, y *Cyclospora cayetanensis*, 21.87%, en heces humanas debido a deficiencias en las condiciones sanitarias de los pobladores de esta zona. Las explotaciones pecuarias locales también tienen deficiencias en sus condiciones sanitarias y en las acciones de manejo acorde al nivel sociocultural de la zona, lo que sugiere una perspectiva de altos niveles de parasitosis.

González [24] documentó huevos de *Toxocara spp.* y *Toxascaris leonina* en muestras de excremento de león

(*Panthera leo*), puma (*Puma concolor*) y jaguar (*Panthera onca*) en el Zoológico San Jorge, ubicado al este de Ciudad Juárez. De acuerdo con Aranda et al. [26], la presencia de estos helmintos en los felinos puede corresponder a la ingesta de larvas infectantes presentes en el ambiente. Por ello, una evaluación integral, incluyendo agua y suelo, es pertinente para comprobar la presencia de *Toxocara spp.* en el suelo y agua de riego, además de descartar su presencia de canes y fauna silvestre en áreas de interacción con ganado.

Los parásitos identificados en el presente estudio, junto con los de Petters [20], Maya [21], Quezada et al. [22], Flores et al. [23] y González [24], indican que los parásitos están circulando a lo largo del Valle de Juárez y sus zonas cercanas, lo cual se puede considerar como un

potencial de riesgo de infección para los animales que habitan en el RU-UACJ y sus alrededores.

B. Identificación y determinación de los factores de riesgo

En la Tabla 4 se observa la calificación de cada criterio de la evaluación de bienestar animal. Durante la limpieza de bebederos se encontraron gallinas dentro del recipiente del bebedero, mientras que en los rumiantes y équidos se hallaron bebederos adecuados pero sucios. Estas razones pueden favorecer el contagio de parásitos gastrointestinales, ya que se detectó *Ascaris* en gallinas, *Trichostrongylus* y *Strongyloides* en bovinos, *Haemonchus* en ovinos y *Cyathostomum* y *Strongylus* en equinos.

TABLA 4
CALIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS IDENTIFICADOS Y DETERMINADOS COMO FACTORES DE RIESGO MEDIANTE LA EVALUACIÓN DE BIENESTAR ANIMAL

CRITERIO	ANIMALES DE PRODUCCIÓN						
	GALLINAS	EQUINOS	PORCINOS	BOVINOS	OVINOS	CAPRINOS	ASNO
Limpieza de bebederos	1	1	5	1	1	1	1
Limpieza zona de descanso	1	5	3	3	3	3	5
Condición corporal	3	3	3	3	3	3	3
Infecciones locales	5	5	5	5	3	3	5
Heridas en el cuerpo	5	5	5	5	5	5	1
Cojeras	5	5	5	5	5	5	5
Estiércol en el cuerpo	5	5	3	3	5	5	3

Criterios con valoración de 1 se determina como inadecuado (factor de riesgo); 3, neutral y 5, adecuado.

Morales [27] confirma que al no brindar un adecuado mantenimiento de desinfección a los bebederos, se aumenta la exposición de contagio de microorganismos patógenos y mortalidad de las aves. En su estudio, Rueda [28] encontró que las aves que se abastecen de agua que contiene material particulado tienden a presentar síntomas de malestar y reducción de producción de huevo. Con estas observaciones se coincide con las reflexiones de Matute y Rivas [29], quienes señalan que el agua contaminada o sucia influye en el desarrollo del ciclo biológico de los parásitos y también se pueden convertir en vehículo de transmisión.

En la limpieza de las zonas de descanso se observó que los nidales de las gallinas se encontraban sucios y con abundantes heces, lo que puede favorecer una infección parasitaria. Esta información no sigue lo recomendado por Guinebretière et al. [30], quienes consideran que la

limpieza de los nidales ayuda a reducir el contagio de enfermedades infecciosas y además evita que se presenten huevos sucios y la contaminación de la cáscara. Castañeda-Benjumea [31] reporta que la limpieza general de los corrales ayuda a reducir el riesgo que se desarrollen y propaguen enfermedades en las gallinas y que esta actividad debe ser continua, como parte de las buenas prácticas de manejo.

El factor heridas en el cuerpo solo se encontró en el asno, al presentar hemorragias en su zona orbital, así como falta de limpieza de la misma, lo que posiblemente puede desencadenar una transmisión de agentes infecciosos por el contacto de la herida abierta en la piel con suelo u otros animales. Reyes et al. [32] mencionan que una forma de contagio de un patógeno entre individuos puede ser a través del contacto de heridas de la piel. Acha y Szyfreses [33] señalan que cuando un indi-

viduo presenta una herida que se puede infectar por el contacto con elementos contaminados de algún agente infeccioso, ya que este puede introducirse en los tejidos blandos del cuerpo.

No se detectó huevos de parásitos en el excremento del asno, sin embargo, el criterio heridas en el cuerpo se

incluyó en la matriz debido a que se determinó como un factor de riesgo.

En la Tabla 5 se observan las prácticas determinadas como factores de riesgo sobre los animales de producción del RU-UACJ, mediante la lista de verificación.

TABLA 5
PRÁCTICAS DETERMINADAS COMO FACTORES DE RIESGO SOBRE LOS ANIMALES DE PRODUCCIÓN DEL RU-UACJ
MEDIANTE LA LISTA DE VERIFICACIÓN

FACTORES DE RIESGOS	ANIMALES DE PRODUCCIÓN						
	GALLINAS	EQUINOS	PORCINOS	BOVINOS	OVINOS	CAPRINOS	ASNO
Animales nuevos sin cuarentena	x	x	x	x	x	x	x
No desparasitación	x	x	x	x	x	x	x
Ausencia de pediluvio	x	x	x	x	x	x	x
Pastoreo mixto	x	x	-	x	x	x	x
Accesibilidad con fauna silvestre	x	x	-	x	x	x	x
Animales muertos	x	-	-	-	-	-	-

Símbolos: x, se presenta la práctica (determinada como factor de riesgo); -, no se presenta práctica.

A la entrada de cada corral se evidenció la ausencia del tapete sanitario (pediluvio), sin embargo, en caprinos y el asno no se reportó presencia parasitaria, pero este factor puede afectar a todos los animales de producción del RU-UACJ. Además, no existe una zona específica de desinfección, lo que probablemente puede influir en una transmisión parasitaria. Esto no se ajusta a lo que establece la OIE [3] sobre la importancia del uso del tapete sanitario como una medida de bioseguridad dentro de un establecimiento para minimizar el riesgo de propagación de agentes infecciosos. Calderón [34] recomienda la utilización de pediluvios en las puertas de ingreso de los corrales, así como en otras áreas dentro de una granja.

En el transcurso de 2020 no se desparasitó a los animales con la frecuencia regular debido a que se presentó la pandemia de SARS-CoV-2 y los estudiantes de veterinaria de la UACJ no asistieron al RU-UACJ a realizar prácticas de apoyo concernientes al plan sanitario de los animales. Guagala [35] resalta que una explotación pecuaria debe incorporar dentro de sus prácticas habituales un sistema de desparasitación, puesto que ayuda a minimizar riesgos en la salud de los animales. También la SAGARPA y SENASICA [36], dentro de sus lineamientos recomiendan establecer un programa de control para endo y ecto parásitos, en función de la granja y análisis de laboratorio, ya que favorece al control sanitario.

La presencia de animales nuevos sin cuarentena previa es un factor que puede afectar a todos los animales de producción del RU-UACJ. Se observó que a los animales nuevos se les permite el ingreso a los rebaños siempre y cuando no presenten ninguna manifestación de malestar. Esta práctica no sigue con las recomendaciones de la OIE [3], la cual enfatiza que tanto las enfermedades como los parásitos se deben evitar y controlar a través de buenas prácticas de manejo animal y de tener en cuenta la importancia de aplicar un proceso de cuarentena a los animales de nuevo ingreso que deben pasar por un proceso de adaptación, ya que esta medida contribuye a la bioseguridad animal y pública. Daniel et al. [37] destacan la importancia de someter a cuarentena los animales de nuevo ingreso al rebaño para descartar contagios de enfermedades infecciosas y reducir pérdidas económicas y muertes de los semovientes.

En cuanto al manejo de los animales muertos, en el corral de las gallinas se encontraron cadáveres de varios días dentro del gallinero y encima del techo. La eliminación de animales muertos debe atenderse de forma inmediata [3]. Asimismo, Gekara y Leite-Browning [38] señalan que los productores de animales deben mantener prácticas de bioseguridad adecuadas en el manejo de animales muertos, ya que esto ayuda a evitar la introducción de organismos causantes de enfermedades que pueden afectar a otros animales.

La accesibilidad con fauna silvestre es constante en los rumiantes, équidos y gallinas del RU-UACJ debido a la particularidad de los corrales y zonas de pastoreo, los cuales están delimitados, pero no son completamente restrictivos. En los porcinos este factor no se determinó como riesgoso debido a su constante confinamiento. En el caso de las gallinas existe una rotura de su corral, lo cual permite la interacción con otros animales.

Durante el estudio se constató la presencia de conejos silvestres (*Sylvilagus audubonii*), correcominos (*Geococcyx californianus*), coyote (*Canis latrans*), gorrión doméstico (*Passer domesticus*), chanate mayor (*Quiscalus mexicanus*), huilota común (*Zenaida macroura*) y paloma doméstica (*Columba livia*). En este escenario se puede suponer una posible transmisión parasitaria entre animales silvestres y de producción. Jakob-Hoff et al. [1] señalan que la interacción entre animales de granja y silvestres puede presentar un contagio directo de enfermedades cuando en estos contactos no se tratan con medidas adecuadas, ya que algunos animales son huéspedes intermedios y otros suelen ser portadores directos de microorganismos infecciosos. La OIE [39] menciona que cuando hay granjas que colindan o coinciden en parte con ambientes donde habitan animales silvestres, siempre este escenario dará lugar a un mayor contacto de agentes patógenos, lo que favorece a la circulación y propagación de enfermedades.

El pastoreo mixto no afecta a los porcinos, ya que los animales constantemente permanecen confinados en

sus instalaciones y no se les permite la salida al exterior de sus corrales, mientras que para las otras especies animales se permite el pastoreo mixto cuando hay disponibilidad de forraje.

Guzmán et al. [40] mencionan en sus consideraciones que en zonas donde se presenta el pastoreo conjunto de rumiantes, los animales jóvenes podrían representar un riesgo de contagio parasitario de *Haemonchus* y *Trichostrongylus*, dada la susceptibilidad de ambos huéspedes. Sin embargo, contradictoriamente, Marley et al. [41] demostraron en su estudio que el manejo del pastoreo mixto permite reducir los niveles de contaminación parasitaria de las pasturas y que a su vez posibilitaba el control de nematodos.

C. Evaluación de impacto de los factores de riesgo

En la Tabla 6, mediante la matriz de Leopold combinada con los CRI, se observan los resultados de la evaluación de impacto de cada factor de riesgo, con un valor mínimo de 2.8 y máximo de 30.7. Los factores con una puntuación de 16 a 39 requieren de la adecuación de prácticas correctivas específicas de control en forma inmediata. Estos factores pueden llegar a perturbar de manera significativa la salud de los animales de producción. Los factores con valores de 0 a 5 no requieren de medidas correctivas específicas de control y tampoco inmediatez, pero sí precisan que sean atendidos con medidas correctivas básicas.

TABLA 6
EVALUACIÓN DE IMPACTO DE LOS FACTORES DE RIESGO EN CADA GRUPO ANIMAL POR MEDIO DE LA MATRIZ COMBINADA CON CRITERIOS RELEVANTES INTEGRADOS

ACCIONES IMPACTANTES DENTRO DEL RANCHO ANIMALES AFECTADOS	FACTORES DE RIESGO								
	ANIMALES NUEVOS SIN CUARENTENA	NO DESPARASITACIÓN	AUSENCIA DE PEDILUVIO	PASTOREO MIXTO	ACCESIBILIDAD CON FAUNA SILVESTRE	LIMPIEZA DE ZONA DE DESCANSO	LIMPIEZA DE BEBEDEROS	ANIMALES MUERTOS	ANIMALES HERIDOS
Gallinas	30.7	29.1	29.1	26.6	24.4	21.5	16.0	16.0	
Equinos	30.7	29.1	29.1	26.6	24.4		4.0		
Porcinos	30.7	29.1	29.1						
Bovinos	30.7	29.1	29.1	26.6	24.4		4.0		
Ovinos	30.7	29.1	29.1	26.6	24.4		2.8		
Caprinos	30.7	29.1	29.1	26.6	24.4		2.8		
Asno	30.7	29.1	29.1	26.6	24.4		4.0		16.0

Escala de severidad: leve (1-5), moderado (6-15), severo (16-39), crítico (40-100).

De la evaluación se obtuvo como resultado que *ausencia de pediluvio, no desparasitación y animales nuevos sin cuarentena* son factores que afectan a todos los animales de producción del RU-UACJ, representando un riesgo de 100% para cada uno (Figura 1), seguido de *accesibilidad con fauna silvestre, pastoreo mixto y limpieza de bebederos* con un 85.7% cada uno, sin afectar a los porcinos. Los factores *animales muertos* (14.3%) perjudica a las gallinas, *animales heridos* (14.3%) afecta solo al asno y *limpieza de zona de descanso* (14.3%) perturba únicamente a las gallinas.

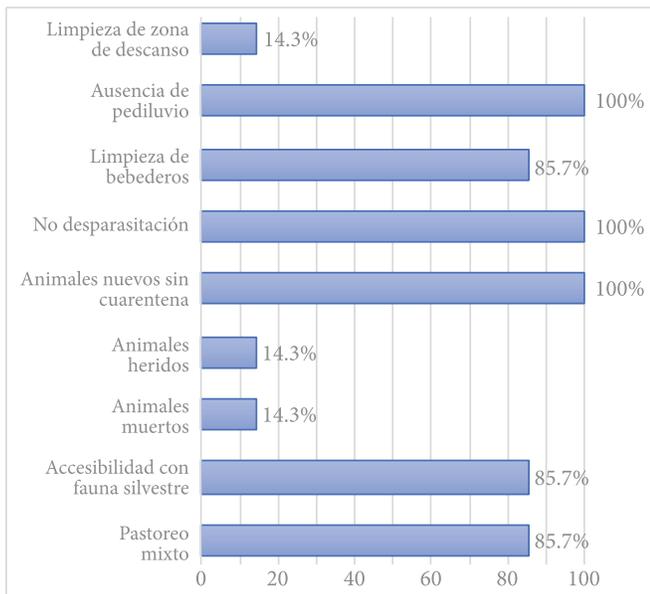


Figura 1. Porcentajes de los factores de riesgo sobre los animales de producción del RU-UACJ.

Los animales impactados con ocho factores de riesgos considerados como severos fueron las gallinas, con 88.8% (Figura 2); el asno, con 7 factores (77.7%); los bovinos, ovinos, caprinos y equinos, con 6 factores (66.6%), y los porcinos con 3 factores (33.3%).

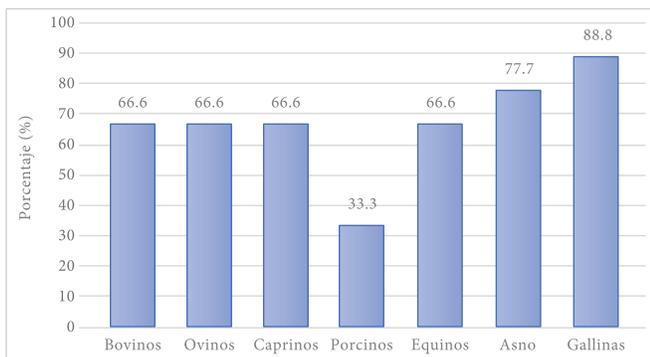


Figura 2. Porcentajes de riesgo por grupo animal.

En cuanto a los análisis de los factores de riesgo se concuerda con las siguientes entidades y leyes, quienes recomiendan y establecen medidas de control sanitario animal: La OIE [3] aconseja realizar análisis de riesgos con el propósito de establecer un control de puntos críticos en la sanidad animal. Asimismo, la Ley Federal de Sanidad Animal en México [42] establece medidas en materia de buenas prácticas pecuarias para reducir los riesgos zoonosarios en establecimientos de tipo pecuario. Del mismo modo, la Norma Oficial Mexicana NOM-046-ZOO-1995 [43] especifica los criterios para la aplicación de la vigilancia epidemiológica de enfermedades que pongan en riesgo la salud animal. También la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA), junto con el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) [36], ha diseñado manuales para fomentar la implementación de las buenas prácticas en producciones pecuarias con el fin de controlar las enfermedades que afectan a los animales.

IV. CONCLUSIONES

Se identificaron seis géneros de parásitos con sus respectivas prevalencias en las muestras de excremento de los animales de producción del RU-UACJ: *Trichostrongylus* (66%) y *Strongyloides* (16%) en bovinos, *Haemonchus* (40%) en ovinos, *Strongyloides* (66%) en porcinos, *Strongylus* (100%) y *Cyathostomum* (66%) en equinos y *Ascaris* (100%) en gallinas, en la temporada de verano de 2020. El grupo animal menos afectados fue el de los porcinos.

Los factores considerados como severos son limpieza de zona de descanso, que perturbó solo a las gallinas; la ausencia de pediluvio, la no desparasitación y contar con animales nuevos sin cuarentena, impactaron en todos los animales de producción del RU-UACJ; animales heridos, que afectó al asno; animales muertos, que perjudicó a gallinas; la accesibilidad a la fauna silvestre y el pastoreo mixto, que afectó a los rumiantes, équidos y gallinas. Estos factores de riesgos requieren de medidas correctivas específicas y de forma inmediata.

La matriz de Leopold, combinada con Criterios Relevantes Integrados, resultó útil para demostrar el impacto de los factores de riesgo en la salud de los animales de producción del RU-UACJ.

REFERENCIAS

- [1] R. M. Jakob-Hoff, S. C. MacDiarmid, C. Lees, P. S. Miller, D. Travis y R. Kock. *Manual of procedures for wildlife disease risk analysis*. (2014). [En línea]. Disponible en: portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2014-007.pdf
- [2] J. H. Leibler et al., “Industrial Food Animal Production and Global Health Risks: Exploring the Ecosystems and Economics of Avian Influenza”, *Ecohealth*, vol. 6, no. 1, pp. 58-70, mar. 2009. doi: 10.1007/s10393-009-0226-0.
- [3] Organización Mundial de Sanidad Animal. “Código Sanitario para los Animales Terrestres (2019)”. OIE. int. www.oie.int/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-codigo-terrestre/ (consultado: enero 9, 2021).
- [4] B. Wimmer, B. H. Craig, J. G. Pilkington y J. M. Pemberton, “Non-invasive assessment of parasitic nematode species diversity in wild Soay sheep using molecular markers”, *Int. J. Parasitol.*, vol. 34, no. 5, pp. 625-631, abr. 2004, doi: 10.1016/j.ijpara.2003.11.022.
- [5] S. A. Squire, H. Amafu-Dey y J. Beyuo, “Epidemiology of gastrointestinal parasites of cattle from selected locations in Southern Ghana”, *Livest. Res. Rural. Dev.*, vol. 25 no. 7, jul. 2013, www.researchgate.net/publication/287521798.
- [6] K. VanderWaal, G. P. Omondi y V. Obanda, “Mixed-host aggregations and helminth parasite sharing in an East African wildlife–livestock system”, *Vet. Parasitol.*, vol. 205, nos. 1-2, pp. 224-232, sept. 2014, doi: 10.1016/j.vetpar.2014.07.015.
- [7] S. Sahinduran, “Protozoan Diseases in Farm Ruminants”, en *A Bird’s-Eye View of Veterinary Medicine*, C. C. Perez-Marin, ed., IntechOpen, 2012, cap. 23, doi: 10.5772/30251.
- [8] A. Volpato et al., “Gastrointestinal protozoa in dairy calves: identification of risk factors for infection”, *Rev. MVZ Córdoba*, vol. 22, no. 2, pp. 5910-5924, may.-ag. 2017, doi: 10.21897/rmvz.1027.
- [9] V. Obanda, N. Maingi, G. Muchemi, C. J. Ng’ang’a, S. Angelone y E. A. Archie, “Infection dynamics of gastrointestinal helminths in sympatric non-human primates, livestock and wild ruminants in Kenya”, *PLoS One*, vol. 14, no. 6, jun. 2019, doi: 10.1371/journal.pone.0217929.
- [10] S. Duffy, C. L. Burch y P. E. Turner, “Evolution of host specificity drives reproductive isolation among RNA viruses”, *Evolution*, vol. 61, no. 11, pp. 2614-2622, nov. 2007, doi: 10.1111/j.1558-5646.2007.00226.x.
- [11] INEGI. “Instituto Nacional de Estadística y Geografía”. *INEGI.org*. www.inegi.org.mx/ (consulta: junio 15, 2021).
- [12] UACJ, *Cuarto informe de actividades 2015-2016*. Ciudad Juárez: UACJ. 2016. Disponible en: [www3.uacj.mx/comunicacion/Documents/Cuarto Informe completo.pdf](http://www3.uacj.mx/comunicacion/Documents/Cuarto%20Informe%20completo.pdf).
- [13] PANAFTOSA / OPS / OMS. *Manual Veterinario de Toma y Envío de Muestras*. (2017). [En línea]. Disponible en: iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/34527/01016970MT13spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [14] OPS/OMS, *Medios auxiliares para el diagnóstico de las parasitosis intestinales*, 2.ª ed. Organización Panamericana de la Salud, 2020. [En línea]. doi: 10.37774/9789275322055.
- [15] S. Aguilar-Barojas, “Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud”, *Salud en Tabasco*, vol. 11 nos. 1-2, pp. 333-338, en.-ag. 2005, disponible en: www.redalyc.org/articulo.oa?id=48711206.
- [16] OPS/OMS, *Indicadores de salud. Aspectos conceptuales y operativos*. Washington: Organización Panamericana de la Salud, 2018. [En línea]. doi: 10.37774/9789275320051.
- [17] Welfare Quality, *Assessment protocol for pigs*. Lelystad, Países Bajos: Welfare Quality, 2009, pp. 1-123. [En línea]. Disponible en: www.welfarequalitynetwork.net/media/1018/pig_protocol.pdf.
- [18] C. Pérez, *Uso de lista de cotejo como instrumento de observación*, Serie Apoyo a la Docencia no. 1. Puerto de Manzanillo, México: Universidad Tecnológica Metropolitana, 2018, pp. 1-21. [En línea]. Disponible en: vrac.utem.cl/wp-content/uploads/2018/10/manua.Lista_Cotejo-1.pdf.
- [19] Gayoso, J. *Impacto ambiental de las prácticas de cosecha forestal y construcción de caminos en bosques nati-*

- vos siempre verdes de la X Región de Chile, Serie Monografías de Explotación Forestal no. 6. Roma: FAO, 1995, 169 pp. [En línea]. Disponible en: www.fao.org/3/v9727s/v9727s0a.htm#7 identificación y valoración de impactos.
- [20] J. G. Petters, “Prevalencias y cargas parasitarias en heces de Canis latrans, del APFF Médanos de Samalayuca”, Tesis de maestría, Departamento de Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chih., México, 2019.
- [21] P. I. Maya, “Detección de huevos de helmintos en agua tratada, residual y de uso agrícola y evaluación de riesgo por género en Nuevo Casas Grandes, Chihuahua”, Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chih., México, 2017.
- [22] A. Quezada, J. I. Ramo, C. Figueroa, R. R. Rivas, R. Martínez y V. Trillo, “Prevalencia de coccidia en becerras holstein en la etapa de desarrollo,” *Cult. Científ. y Tecnol.*, no. 49, esp. no. 2, en.-abr. 2013. [En línea]. Disponible en: erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/186/179.
- [23] J. P. Flores et al., *Gastrointestinal diseases and causal effects in the Valle de Juárez, Chihuahua, México*, col. Textos Universitarios, serie Investigación. Ciudad Juárez: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2010, 128 pp. [En línea]. Disponible en: bva.colech.edu.mx/xmlui/handle/1/1701.
- [24] O. González, “Prevalencia de parásitos en felinos silvestres en cautiverio”, Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chih., México, 2012.
- [25] M. Rivadeneira, “Diarrea en terneros por Coccidias”, Monografía de grado, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2012. [En línea]. Disponible en: dspace.ucueca.edu.ec/bitstream/123456789/443/1/TESIS.pdf
- [26] C. Aranda, E. Serrano-Martínez, M. Tantaleán, M. Quispe y G. Casas, “Identificación y frecuencia de parásitos gastrointestinales en felinos silvestres en cautiverio en el Perú”, *Rev. de Investig. Vet. del Perú*, vol. 24, no. 3, pp. 360-368, ag. 2013, disponible en: www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172013000300013.
- [27] G. Morales, L. Arelis, E. Sandoval, D. Jiménez y J. Morales, “Relación entre la condición corporal y el nivel de infestación parasitaria en bovinos a pastoreo como criterio para el tratamiento antihelmíntico selectivo”, *Rev. Investig. Vet. del Perú*, vol. 23, no. 1, nov. 2012, doi: 10.15381/rivep.v23i1.886.
- [28] F. E. Rueda, “Rediseño de bebedero de agua para aves de corral con un sistema de filtro que reduzca el material particulado y sólidos en suspensión que contrae el agua en el ambiente externo de la zona rural del municipio de Palermo - Huila”, Informe final de licenciatura, Universidad Cooperativa de Colombia, Neiva, Colombia, 2020. [En línea]. Disponible en: repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/20140/1/2020_bebedero_agua_aves.pdf.
- [29] M. L. Matute y W. I. Rivas, “Prevalencia de parásitos gastrointestinales según la época del año, en aves de patio jóvenes y adultas en el Sauce, León, Nicaragua”, Tesis de licenciatura, Departamento de Sanidad Animal / Unidad de Parasitología, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua, 2012. [En línea]. Disponible en: riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/3311/1/225919.pdf.
- [30] M. Guinebrière, A. Huneau-Salaün, D. Huonnic y V. Michel, “Cage hygiene, laying location, and egg quality: The effects of linings and litter provision in furnished cages for laying hens”, *Poult. Sci.*, vol. 91, no. 4, abr. 2012, doi: 10.3382/ps.2011-01881.
- [31] C. Castañeda-Benjumea, “Evaluación del bienestar animal de gallinas ponedoras *Bovans White* alojadas en piso”, *Abanico Vet.*, vol. 10, no. 1, en. 2020, doi: 10.21929/abavet2020.5.
- [32] H. Reyes, P. Navarro y M. Sánchez, “Infecciones por parásitos en trabajadores de la salud: transmisión y control”, *Rev. Inst. Nac. Hig.*, vol. 35, no. 1, pp. 32-45, en. 2004, disponible en: ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-04772004000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- [33] P. N. Acha y B. Szyfres, “Zoonosis y enfermedades transmisibles comunes al hombre y a los animales. Volumen I: Bacteriosis y micosis”, *Rev. Esp. Salud Pública*, vol. 75, no. 3, pp. 263-264, en.-jun. 2001, doi: 10.1590/S1135-57272001000300009.

- [34] K. S. Calderón, “Comparación del efecto desinfectante de hidróxido de calcio vrs. una mezcla de ácidos orgánicos y surfactantes, aplicados en pediluvios de una granja avícola en el departamento de Guatemala”, Tesis de licenciatura, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2005. [En línea]. Disponible en: www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/7158.
- [35] R. Guagala, “Prevalencia de parásitos gastrointestinales en bovinos en producción de leche del cantón Urcuquí”, Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ibarra, Ecuador, 2019. [En línea]. Disponible en: dspace.pucesi.edu.ec/handle/11010/420.
- [36] SAGARPA/SENASICA. Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en la Producción de Granjas Porcícolas, 2.^a ed. (2016). [En línea]. Disponible en: acsaa.com.mx/wp-content/uploads/2019/06/Manual_de_Buenas_Prcticas.pdf
- [37] S. Daniel., M. A. Abeledo, I. Miranda y E. Lobo, “Identification of the risk factors for mortality by contagious bovine pleuropneumonia in Namibe, Angola”, *Rev Salud Anim.*, vol. 38, no. 1, pp.1-8, 2016. [En línea]. Disponible en: scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-570X2016000100001&lng=es.
- [38] O. Gekara, M. L. Leite-Browning, “Prácticas de Bioseguridad para los Ranchos y Granjas de los Pequeños Productores de Ganado Vacuno de Carne”, Serie para productores de pequeña escala y aficionados [En línea], 2012. Disponible en: iiad.tamu.edu/wp-content/uploads/2012/06/Small-Beef-Cattle-Part-1-Spanish.pdf
- [39] OIE (Organización Mundial de Sanidad Animal), “Enfermedades de los animales silvestres”, Hoja informativa [En línea], 2015. Disponible en: www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Media_Center/docs/pdf/Fact_sheets/WD_ES.pdf
- [40] M. Guzmán, C. Fiel, y P. Steffan, “La infección cruzada de *Haemonchus contortus* de ovinos a bovinos y el riesgo de transmisión de resistencia antihelmíntica. Una revisión”, *Vet. Arg.*, vol. 27, no. 272, pp. 1-7, 2010, disponible en: www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/parasitarias/parasitarias_bovinos/141-Haemonchus_Contortus.pdf.
- [41] C. L. Marley, M. D. Fraser, D. A. Davies, M. E. Rees, J. E. Vale y A. B. Forbes, “The effect of mixed or sequential grazing of cattle and sheep on the faecal egg counts and growth rates of weaned lambs when treated with anthelmintics”, *Vet. Parasitol.*, vol. 142, no. 1-2, pp. 134-141, nov. 2006, doi: 10.1016/j.vetpar.2006.06.030.
- [42] Cámara de Diputados. Sesión (2017, diciembre 12). Última reforma DOF 16-02-2018, Ley Federal de Sanidad Animal. [En línea]. Disponible en: www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFSA_160218.pdf
- [43] SAGARPA. DOF. (1997, febrero 19). Norma Oficial Mexicana NOM-046-ZOO-1995, Sistema Nacional de Vigilancia Epizootiológica. [En línea]. Disponible en: www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203473/NOM-046-ZOO-1995_190297.pdf

RECONOCIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y al programa de Maestría en Ciencia Animal por el desarrollo del trabajo de investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca 748558 otorgada a Elkin Giovanni Quiroga Calderón durante el tiempo de estudios de la maestría (agosto de 2019 a julio de 2021).

Al Rancho Universitario UACJ y sus trabajadores por el apoyo a la realización del presente estudio.

Al Laboratorio de Ciencias Básicas de la División Multidisciplinaria de la UACJ en Nuevo Casas Grandes, donde se realizaron las técnicas coproparasitoscópicas.

A los compañeros de estudio Juan Rolando Rueda Torres, July Natalia Guerra Murcia y Bianca Viviana Orozco Galindo por el apoyo prestado en labores de campo.

Análisis de carga mental y error humano entre dos centros de lavado

Mental Load and Human Error Analysis Between Two Laundry Centers

Carlos Solís-Téllez¹, Pablo Daniel Gutiérrez-Gutiérrez¹

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

RESUMEN

El objetivo de este estudio es el de conocer si la propuesta de un panel de control optimizado reduce el nivel de carga mental al compararlo con el panel de control actual de un centro de lavado Frigidaire mediante un análisis jerárquico de tareas (HTA) en conjunto con un estudio TAFEI y un estudio NASA-TLX. Como resultado de este trabajo, en el que participaron 20 personas de Ciudad Juárez, Chihuahua, México, se encontró que la tarea de lavado de ropa y selección de ciclo con el panel de control actual genera un nivel de carga mental de 89 y 53 puntos al utilizar el panel de control actual. No se han encontrado otros estudios en los que se realice un análisis de carga cognitiva de paneles de control de los centros de lavado. En base a los resultados se puede determinar que los usuarios sienten una mejora en el nivel de carga mental de 28 % y 45 % con las nuevas propuestas de paneles de control.

PALABRAS CLAVE: centro de lavado; carga mental; selección de ciclo; NASA-TLX; HTA.

ABSTRACT

The objective of this study is to know if the proposal of an optimized control panel reduces the level of mental load with respect to the current control panel of a Frigidaire laundry center through a Hierarchical Analysis of Tasks (HTA) along with a TAFEI study and a NASA-TLX study. As a result of this work, in which 20 people from Ciudad Juarez, Chihuahua, Mexico participated, it was found that the task of laundry and cycle selection with the current control panel generates a mental load level of 89 and 53 points when using the current control panel. No other studies were found in which an analysis of the cognitive load of control panels of the laundry center is done. Based on the results, it can be determined that users feel an improvement in the level of mental load with the proposed control panel, showing a reduction in mental load of more approximately 28% and 45% with the new control panel proposals.

KEYWORDS: laundry center; mental load; cycle selection; NASA-TLX; HTA.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Carlos Solís Téllez
INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez /
Instituto de Ingeniería y Tecnología
DIRECCIÓN: Av. del Charro 450 norte, col. Partido Romero,
C. P. 32310. Ciudad Juárez, Chihuahua, México
CORREO ELECTRÓNICO: al194618@alumnos.uacj.mx

Fecha de recepción: 26 de abril de 2021. **Fecha de aceptación:** 8 de octubre de 2021. **Fecha de publicación:** 10 de noviembre de 2021.



I. INTRODUCCIÓN

El impacto del uso de los paneles de control de centros de lavado doméstico en los usuarios ha sido abordado por diversas investigaciones. Por ejemplo, en un estudio de Kumar & Kumar [1] se analiza el nivel de carga mental generado al utilizar tres paneles de control diferentes, uno analógico, uno digital y uno híbrido, mediante un electroencefalograma (EEG) y el índice de carga mental de la NASA (NASA-TLX). Se determinó que las opciones de diseño en diferentes paneles de control requieren de diferentes niveles de interpretación, lo cual implica una posible relación con el nivel de carga mental.

También, el estudio de Jin, Cardoso y Verbert [2] encuentra una relación directa entre el número de opciones controladas por el usuario y el nivel de carga mental. En el primer aspecto, si bien aumenta la precisión de las tareas, no son necesariamente las preferidas. Esto indica que solo usuarios con un alto nivel de experiencia (experto) y/o con la necesidad de obtener resultados de alta eficiencia prefieren tareas con un elevado número de opciones, lo que significa un alto nivel de carga mental.

Específicamente, los centros de lavado Frigidaire son hoy en día de los más utilizados en el mercado, su panel de control está estandarizado entre modelos y aun después de una extensa investigación documental no se han encontrado estudios en los que se realice un análisis de carga cognitiva al manipular paneles de control de centros de lavado u otros electrodomésticos.

Uno de los estudios que podría estar relacionado con lo anterior se aborda en el capítulo 36 del libro *Handbook of Industrial Engineering* [3], en el cual se analiza el diseño del panel de control de una estufa. Ahí se menciona que diferentes tareas pueden depender de recursos psicológicos o funciones mentales similares, por lo que mientras más opciones haya en el panel, mayor será la carga mental experimentada. De esta forma, los niveles de carga mental tienden a estar relacionados con el nivel de similitud entre las funciones mentales y sus limitaciones. Otros estudios revisados se enfocan en el análisis de la eficiencia, el desempeño o la ergonomía, haciendo énfasis en la capacidad de los usuarios para desempeñar o comprender las tareas a realizar y la efectividad con la que se realizan [4], [5], [6].

Con el desarrollo tecnológico y el avance acelerado en los procesos de inteligencia artificial, síntesis y análisis de procesos de trabajo y toma de decisiones, ha sido posible facilitar los trabajos más complejos, por lo que ahora pueden ser realizados por el usuario inexperto.

Dados estos antecedentes, se plantean estas interrogantes: ¿cuál es el nivel de carga mental que se genera al lavar ropa en un centro de lavado Frigidaire al utilizar la versión estandarizada del panel de control? y ¿reducir el número de opciones en el diseño del panel de control generaría una diferencia en el nivel de carga mental percibido por los usuarios? Este artículo de investigación, por lo tanto, se enfoca en responder estas preguntas. Para ello se midió el nivel de carga mental generado al lavar ropa en un centro de lavado Frigidaire (Figura 1) y se comparó con el generado por la nueva propuesta (Figura 2).



Figura 1. Panel de control actual de un modelo Frigidaire.

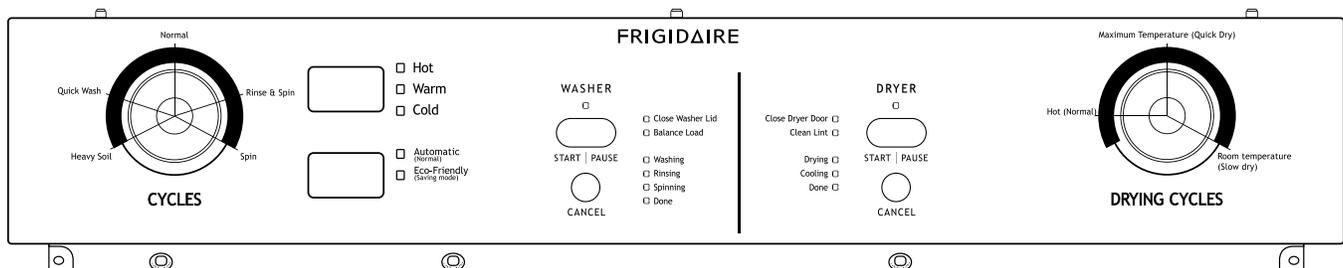


Figura 2. Panel de control propuesto para los modelos Frigidaire.

II. METODOLOGÍA

Este estudio se llevó a cabo en Ciudad Juárez, Chihuahua, México, por medio de la aplicación de las siguientes herramientas de evaluación de carga mental: Análisis jerárquico de tareas (HTA: *hierarchical task analysis*), análisis de tareas para la identificación de errores (TAFEI: *task analysis for human error identification*) y el NASA-TLX (*NASA Task Load Index*). Participaron usuarios de entre 18 y 57 años, en su mayoría mujeres, los cuales están dentro del rango de población económicamente activa con la mayor ocupación laboral, según su edad [7] y están divididos en tres grupos de edad (18-39 años, 25-40 años y 55-75 años).

Este estudio de tipo mixto tiene un enfoque principalmente cualitativo, en el que se compararon los niveles de carga mental generados al utilizar dos paneles de control diferentes en el mismo centro de lavado. Se definieron tres variables principales: una dependiente (nivel de carga mental) y dos independientes (panel de control actual y panel de control propuesto).

Herramientas de evaluación de carga mental

Para determinar el nivel de carga mental, primero se realizaron dos análisis HTA, el primero con el panel de control normal y el segundo con el panel de control propuesto.

Análisis jerárquico de tareas (HTA)

El análisis jerárquico de tareas permite analizar con más detalle las tareas que se llevan a cabo al realizar una actividad como la de lavar una carga de ropa [8].

Una vez que se realizó el primer análisis HTA utilizando el panel de control actual, el ciclo de trabajo se dividió en siete tareas (Figura 3), lo cual ayudó a determinar las tareas a realizar por los usuarios de prueba:

1. Elegir la cantidad de ropa que se pondrá en la lavadora.
2. Colocar detergente y ropa en la lavadora.
3. Seleccionar ciclo de lavado.
4. Seleccionar el nivel de agua.
5. Seleccionar la temperatura.
6. Activar el ciclo de lavado.
7. Vaciar la lavadora.

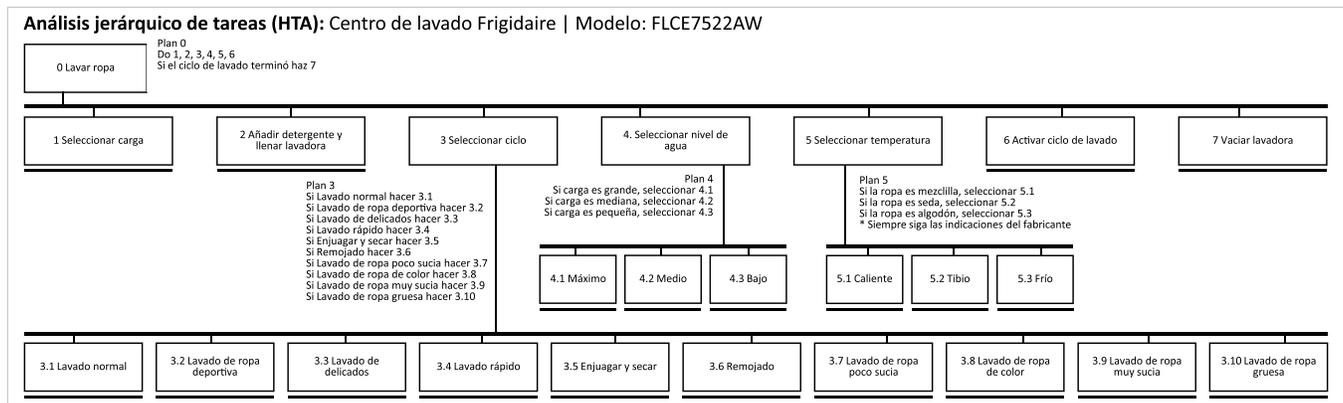


Figura 3. Panel de control actual HTA.

Análisis de TAFEI

A continuación, se realizó un análisis TAFEI para encontrar posibles errores y soluciones en el procedimiento (Figuras 4, 5 y 7). En la descripción de posibles errores y soluciones se propone la generación de instrucciones o etiquetas de advertencia para el usuario. Esta información es una simplificación de la que ya se encuentra en el instructivo y se propone su inclusión para brindar información rápida en caso de que el usuario haya omitido la lectura de este.

Panel de control alternativo HTA

Después de realizar el primer análisis HTA, surgió la hipótesis de que un alto número de opciones genera un alto nivel de carga mental, por lo que se diseñó un panel de control alternativo con un número reducido de opciones en las tareas de selección de ciclos y selección de nivel de agua (Figura 2), el cual se denomina panel de control propuesto. Con el nuevo diseño, se realizó otro análisis HTA (Figura 6).

Carga de ropa y una cantidad de detergente predeterminadas (Tareas 1 y 2)

La “Tarea 1: Seleccionar carga” y “Tarea 2: Añadir detergente y llenar la lavadora” se utilizan como actividades de control para que poder realizar una comparación entre los paneles, ya que en la propuesta del nuevo pa-

nel de control solo se modifica el número de opciones en “Selección del ciclo de lavado” y “Selección nivel de agua”, por lo cual se predeterminan la carga de ropa y la cantidad de detergente a utilizarse durante la “Tarea 0: Ciclo de lavado”, utilizando el mismo valor en todas las iteraciones.

		Of the state						
		Vacía	Llena	Ciclo seleccionado	Nivel de agua seleccionado	Nivel de temperatura seleccionado	Lavado	Ciclo completado
From the state	Vacía	-	L1	-	-	-	IA	-
	Llena		-	L2			IC	-
	Ciclo seleccionado			-	L3		ID	-
	Nivel de agua seleccionado				-	L4	IE	-
	Nivel de temperatura seleccionado					-	L5	-
	Lavado	IF	IG	IH	II	IJ	-	LM
	Ciclo completado	L4	L1				LM	-

Figura 4. Matriz de transición de TAFEI.

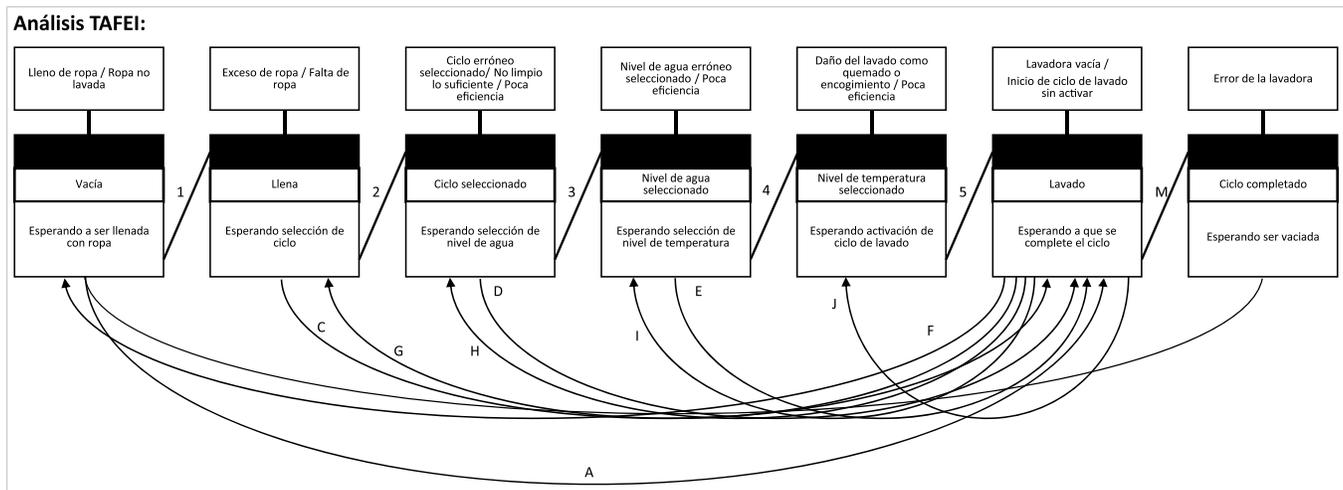


Figura 5. Análisis actual del panel de control TAFEI.

Para determinar la carga de ropa y la cantidad de detergente se tomó como referencia un artículo que aparece en la *Revista del Consumidor* llamado “Centros de Lavado y Lavasecadoras: Más ropa limpia en menos tiempo y menos espacio”, en donde se menciona que el nivel óptimo de carga para lavar ropa de algodón con el ciclo

normal es de 5 kg, mientras que se utilizaron 89.5 ml de detergente Ariel líquido doble potencia [9]. Estos parámetros se tomaron en cuenta para la aplicación del instrumento y no se midieron, ya que las cantidades, marcas y proporciones utilizadas son las mismas en todas las iteraciones y no son de interés para esta investigación.

Procedimiento

Una vez que se determinaron las tareas a llevar a cabo por el usuario, se iniciaron las iteraciones de la siguiente manera: el primer paso consistió en colocar la perilla de selección de ciclo en la opción de “Light Soil”, para que el usuario se viera en la necesidad de seleccionar un ciclo de trabajo. En segundo lugar, se proporcionó a los usuarios el manual de instrucciones del fabricante y se les invitó a leerlo. En tercer lugar, se les pidió a los

usuarios que realizaran la “Tarea 0: Lavado de ropa” del análisis HTA, la cual contiene las siguientes subtareas (Figura 6):

1. Seleccionar carga de ropa.
2. Colocar detergente y ropa en la lavadora.
3. Seleccionar ciclo de lavado.
4. Seleccionar el nivel de agua.
5. Seleccionar temperatura.
6. Activar el ciclo de lavado.
7. Vaciar la lavadora.

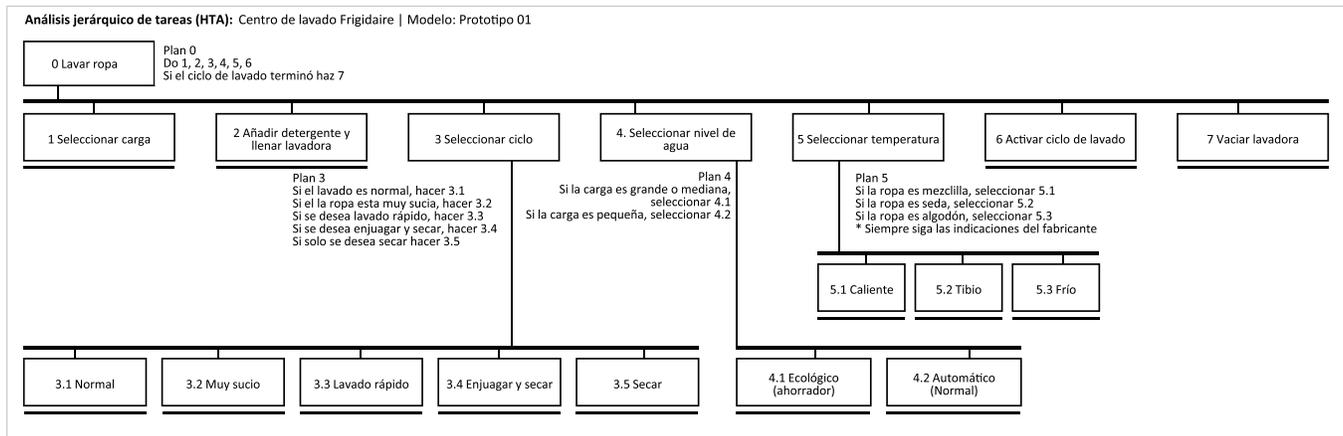


Figura 6. HTA con panel de control alternativo.

Error	Transition	Error description	Solution
A	1 to 6	Vaciar lavadora	Sensor de carga
C	2 to 6	Los requerimientos de carga no son compatibles con los valores de configuración	Instrucciones para el usuario Opciones de optimización
D	3 to 6	Los requerimientos de carga no son compatibles con los valores de configuración	Instrucciones para el usuario Opciones de optimización Sensor de carga Sensor de densidad de masa amigable con el medio ambiente
E	4 to 6	Los requerimientos de carga no son compatibles con los valores de configuración	Instrucciones para el usuario Opciones de optimización
F	6 to 1	La lavadora no lavó por completo	Instrucciones para el usuario, etiqueta de advertencia
G	6 to 2	Los requerimientos de carga no son compatibles con los valores de configuración	Instrucciones para el usuario, etiqueta de advertencia
H	6 to 3	Los requerimientos de carga no son compatibles con los valores de configuración, poca eficiencia	Instrucciones para el usuario, etiqueta de advertencia
I	6 to 4	Los requerimientos de carga no son compatibles con los valores de configuración, poca eficiencia	Instrucciones para el usuario, etiqueta de advertencia
J	6 to 5	Los requerimientos de carga no son compatibles con los valores de configuración, daño del lavado como quemado o encogimiento, poca eficiencia	Instrucciones para el usuario, etiqueta de advertencia

Figura 7. Descripción de posibles errores-soluciones.

NASA-TLX

Para realizar el análisis NASA-TLX fue necesario generar un instrumento de evaluación para comparar los resultados obtenidos con los paneles de control del usuario. Este instrumento mide la presión mental,

física, temporal, el esfuerzo, el rendimiento y la frustración de una persona al realizar un ciclo de trabajo. Consta de cinco fases en las que se realiza una medición, se genera una puntuación, se determina el peso, se convierte la puntuación y se obtiene una medida ponderada global.

Una vez completado el proceso del ciclo de trabajo, se pidió al usuario que llenara el Instrumento de Evaluación NASA-TLX, así como el Formulario de Comparación de Dimensiones para determinar el peso de cada dimensión por tarea. Para comenzar con el proceso, se generó un instrumento de evaluación que consiste en 6 preguntas para medir las dimensiones y 15 comparaciones para medir la demanda mental. Se pidió al usuario que realizara una tarea y luego evaluara cualitativamente, indicando en un rango de 0 a 20 cuál de los factores le causó más carga cognitiva. Esta información se recopiló en un documento y mediante la ponderación de los datos y su multiplicación, se obtuvo una media ponderada global para cada una de las tareas. Una vez completada la etapa de evaluación del instrumento actual, el usuario abordó el segundo instrumento, el cual evaluó la carga mental al utilizar el panel de control propuesto.

En este caso se valoraron dos tareas: la primera es la “Tarea 0: Lavado de ropa”, donde evaluó de manera global el proceso, y la segunda es la “Tarea 3: Selección de ciclo”, la cual se encuentra dentro de la anterior y evaluó de manera específica el nivel de la carga mental generada. Estas evaluaciones se realizaron tanto para el panel de control propuesto como para el panel de control actual. Finalmente se graficaron los resultados para realizar una comparación visual (Figura 8).

Atributo	Frigidaire FLCE7522AW	Frigidaire Prototipo 01
Análisis ergonómico de carga mental	×	✓
Capacidad de carga de ropa (declarada/recomendada)*	8 kg / 5 kg	8 kg / 5 kg
Número de ciclos	10	5
Número de niveles de agua	3	2
Número de temperaturas	3	3
Material de la tina	Plástico	Plástico
Seguro en tapa	✓	✓
Despachador de blanqueador	✓	✓
Despachador de suavizante	✓	✓
Alarma	✓	✓
Función de prelavado	✓	✓
Sistema de secado a gas	Gas	Gas
Filtro atrapa pelusa	✓	✓
Alarma fin de ciclo	✓	✓
Sistema antiarrugas	✓	✓
Indicadores LED	✓	✓
Material del tambor	Esmaltado	Esmaltado

* Recomendada de acuerdo con su capacidad volumétrica.

Figura 8. Comparación de atributos entre panel de control actual y propuesto.

III. RESULTADOS

Primer análisis jerárquico de tareas HTA y TAFEI

El análisis HTA es uno de los métodos más utilizados para iniciar la tarea de análisis de la carga mental [10], por lo que, al utilizarlo junto con el análisis TAFEI para determinar el nivel de carga mental generada al manipular el panel de control actual, expone de manera clara la gran cantidad de variables que se generan al momento de obligar al usuario a seleccionar una opción de entre un elevado número de alternativas, como en el caso de la “Tarea 3: Ciclo de lavado” y, en especial, si se combina con la “Tarea 4: Nivel de agua”. Lo anterior ayuda a fortalecer la hipótesis de que reducir el número de opciones en estas tareas podría generar una reducción en el nivel de carga mental percibida.

Panel de control alternativo HTA

Con el fin de probar la hipótesis ya mencionada, se diseñó una propuesta con un número reducido de subtareas en la “Tarea 3: Ciclo de lavado” y en la “Tarea 4: Nivel de agua”, reduciéndolas de 10 a 5 y de 3 a 2 respectivamente (Figura 6) para la que se utilizó el panel de control propuesto (Figura 2). En la Figura 8 se hace una comparación entre los diferentes modelos.

NASA-TLX

Los resultados del instrumento NASA-TLX muestran una reducción de la carga mental percibida por los 3 grupos de usuarios al considerar la “Tarea 0: Lavado de ropa” y “Tarea 3: Ciclo de lavado” (denominadas como Tarea 0 y Tarea 3 en las gráficas de las Figuras 9 y 10).

Prueba de normalidad y prueba T

Con los datos obtenidos del NASA-TLX se realizaron pruebas de normalidad y una prueba T, en las que se observó una distribución normal y un cambio estadístico significativo, tanto en la “Tarea 0: Ciclo de lavado” (Figura 15) como en la “Tarea 3: Selección de ciclo” (Figura 16).

Las pruebas de normalidad resultaron válidas, con valor P mayores a 0.05, con la excepción de la prueba de “Tarea 0: Lavar ropa” (propuesta). Esto puede atribuirse a que el usuario está fatigado en la última fase del proceso de las pruebas (Figuras 11, 12, 13 y 14).

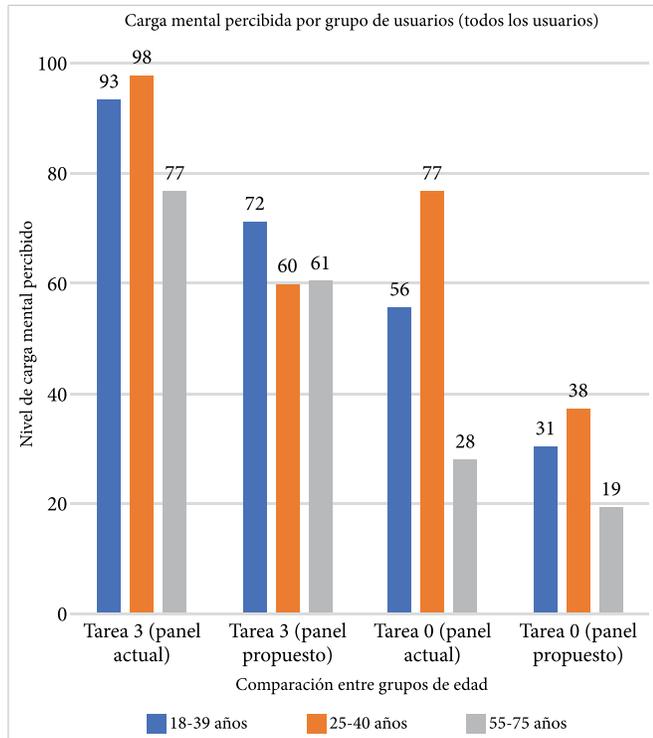


Figura 9. Carga mental promedio percibida por todos los usuarios.

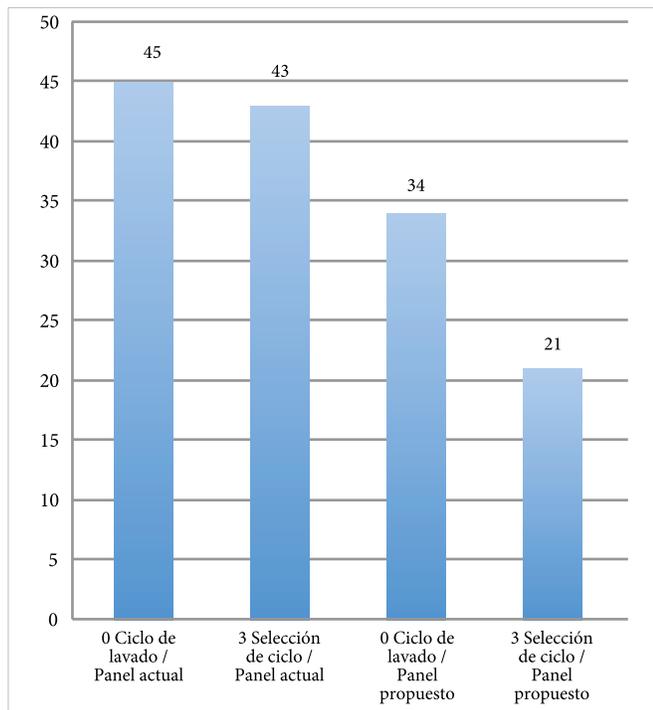


Figura 10. Carga mental promedio de los tres grupos de usuarios.

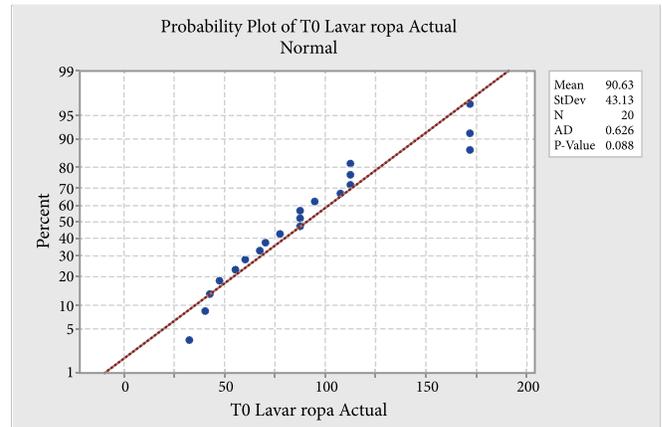


Figura 11. Prueba de normalidad de los datos de la “Tarea 0: Ciclo de lavado” (Actual).

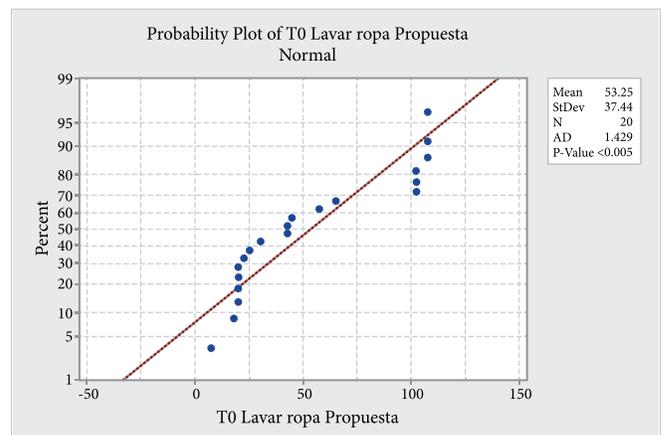


Figura 12. Prueba de normalidad de los datos de la “Tarea 0: Ciclo de lavado” (Propuesta).

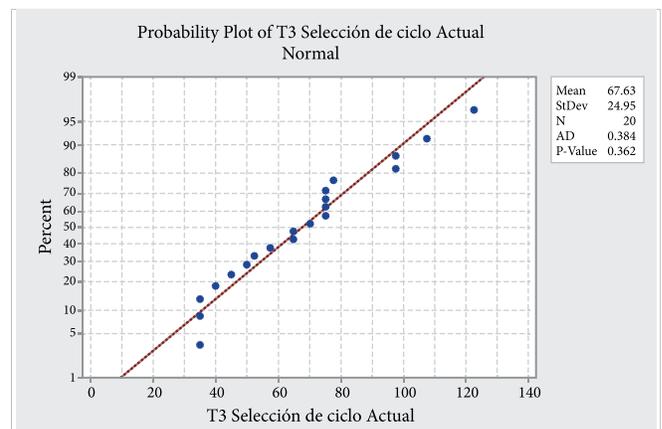


Figura 13. Prueba de normalidad de los datos de la “Tarea 3: Selección de ciclo” (Actual).

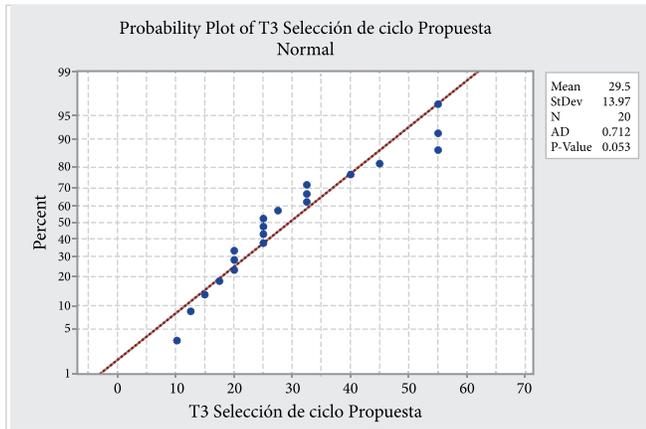


Figura 14. Prueba de normalidad de los datos de la “Tarea 3: Selección de ciclo” (Propuesta).

En la prueba T (Figuras 15 y 16) existe una diferencia significativa de los datos entre ambas.

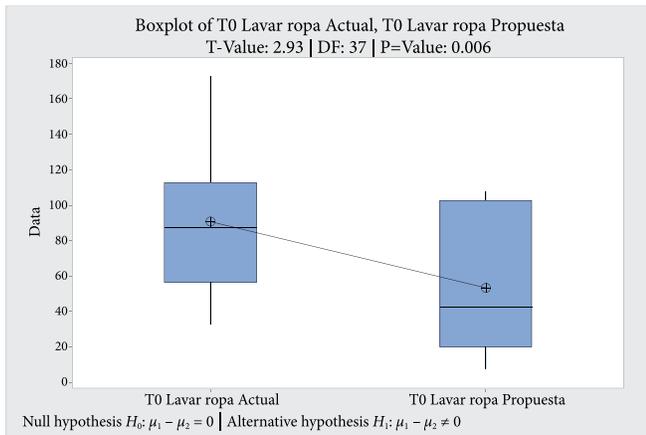


Figura 15. Prueba T de los datos de la “Tarea 0: Ciclo de lavado” (Propuesta).

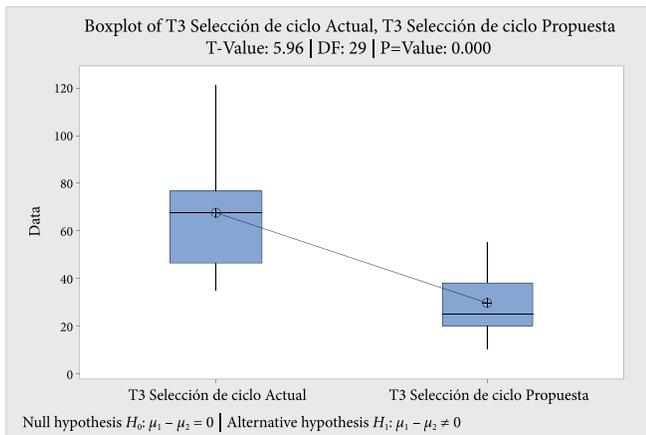


Figura 16. Prueba T de los datos de la “Tarea 3: Selección de ciclo” (Propuesta).

IV. CONCLUSIONES

Con base en los resultados, es posible determinar que existe una diferencia significativa entre las muestras de todos los grupos y que se siente una mejora en el nivel de carga mental con el panel de control propuesto, tanto de la tarea 0 como de la tarea 3, con mejoras de aproximadamente 28 % y 45 %, respectivamente (Figura 10). Sin embargo, debido a que la muestra es $N=20$ se recomienda ampliar la muestra para obtener valores estadísticamente más significativos. Los resultados obtenidos indican que los usuarios de un centro de lavado prefieren utilizar un pequeño número de opciones, esto debido a que solo requieren un número reducido de funciones para sentirse satisfecho, ya que solo realiza la tarea de lavar la ropa de forma casual.

Estos resultados concuerdan con la información obtenida de otros estudios de carga cognitiva y, aunque la alta eficiencia es deseable, esta se puede mantener manipulando los parámetros del centro de lavado o su metodología de uso.

REFERENCIAS

- [1] N. Kumar y J. Kumar, “Selection of Control Panel Design Using Cognitive Load Parameters Based on Physiological Data: An Experimental Study”, *Des. J.*, vol. 22, no. 5, pp. 607-626, 2019, doi: 10.1080/14606925.2019.1634446.
- [2] Y. Jin, B. Cardoso y K. Verbert, “How do different levels of user control affect cognitive load and acceptance of recommendations?”, *CEUR Workshop Proc.*, vol. 1884, pp. 35-42, 2017.
- [3] N. Marmaras y T. Kontogiannis, “Cognitive Tasks”, en *Handbook of Industrial Engineering*, G. Salvendy, ed., 3.ª ed. John Wiley & Sons, Inc., 2007, cap. 39, pp. 1011-1040.
- [4] R. Parasuraman, M. Mouloua y B. Hilburn, “Adaptive aiding and adaptive task allocation enhance human-machine interaction”, en *Automation Technology and Human Performance*, M. W. Scerbo y M. Mouloua, eds. Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1999, pp. 119-123.
- [5] S. H. Hsu y Y. Peng, “Control/display relationship of the four-burner stove: A reexamination”,

- Hum. Factors*, vol. 35, no. 4, pp. 745-749, 1993, doi: 10.1177/001872089303500413.
- [6] A. Glasgow y P. G. Higgins, “The use of domestic appliances by cognitively impaired users”, *Int. J. Cogn. Perform. Support*, vol. 1, no. 1, pp. 40-53, 2013, doi: 10.1504/ijcps.2013.053589.
- [7] INEGI. Comunicado de prensa núm. 457/12. (2021, ag. 19). *Resultados de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo. Nueva edición. Cifras durante el segundo trimestre de 2021*. [En línea]. Disponible en: www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/enoe_ie/enoe_ie2021_08.pdf
- [8] N. A. Stanton, “Hierarchical task analysis: Developments, applications, and extensions”, *Appl. Ergon.*, vol. 37, no. 1, 2006, pp. 55-79, doi: 10.1016/j.apergo.2005.06.003.
- [9] Procuraduría Federal del Consumidor, “Centros de Lavado y Lavasecadoras. Más ropa limpia en menos tiempo y menos espacio”, *Rev. del Consum.*, oct. 2014, vol. 452, pp. 46-55.
- [10] A. A. Durán-Coronado, A. A. Maldonado-Macías, M. A. Barajas-Bustillos y J. L. Hernández-Arellano, “Análisis cognitivos de carga mental e identificación del error humano para mejorar la experiencia de usuario”, *CienciaUAT*, vol. 14, no. 1, pp. 71-84, 2019, doi: 10.29059/cienciauat.v14i1.1173.

Posibilidades de nanocompuestos madera-plástico en el diseño de productos

Possibilities of wood-plastic nanocomposites in product design

Alejandra Montes-Villagrán¹, Santos Adriana Martel-Estrada¹

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

RESUMEN

Los compuestos de madera-plástico han sido objeto de interés por parte de investigadores por sus propiedades mejoradas, en comparación con los productos basados únicamente en plástico o madera. Sin embargo, durante algunos años se han estudiado los efectos de algunos nanorrellenos sobre estos compuestos. La presente investigación tiene como objetivo la revisión de las investigaciones más relevantes en trabajos publicados en revistas científicas sobre los efectos de los nanorrellenos en los compuestos de madera y plástico. El material bibliográfico consultado se encuentra entre los años 2011 y 2021. En este estudio se discuten los beneficios ambientales, la limitación de las aplicaciones y los efectos de algunas nanopartículas en estos compuestos con plástico virgen y reciclado. Se concluye que los nanocompuestos de madera-plástico son una excelente opción de material con aplicaciones potenciales. No obstante, se sugiere visualizar las alternativas que existen para el uso de nanocompuestos madera-plástico en el diseño de producto.

PALABRAS CLAVE: nanocompuestos; compuestos madera-plástico; diseño de producto.

ABSTRACT

Wood-plastic composites have been the subject of interest from researchers for their improved properties compared to products based solely on plastic or wood. However, the effects of some nanofillers on these composites have been studied for some years. The present research aims to review the most relevant research in works published in scientific journals on the effects of nanofillers in wood-plastic composites. The bibliographic material consulted was published between 2011 and 2021. This study discusses the environmental benefits, the limitation of its applications, and some nanoparticles' effects in these composites with virgin and recycled plastic. It is concluded that wood-plastic nanocomposites are an excellent material option with potential applications. Nevertheless, it is suggested to visualize the alternatives for the use of wood-plastic nanocomposites in product design.

KEYWORDS: nanocomposites; wood-plastic composites; product design.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Santos Adriana Martel-Estrada
INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez /
Instituto de Ingeniería y Tecnología
DIRECCIÓN: Av. del Charro 450 norte, col. Partido Romero,
C. P. 32310. Ciudad Juárez, Chihuahua, México
CORREO ELECTRÓNICO: adriana.martel@uacj.mx

Fecha de recepción: 28 de abril de 2021. **Fecha de aceptación:**
10 de noviembre de 2021. **Fecha de publicación:** 8 de diciembre
de 2021.



I. INTRODUCCIÓN

Los compuestos de madera y plástico, denominados en inglés Wood-Plastic Composites (WPC), son aquellos que contienen elementos a base de madera, como tablonés, chapa, fibras o partículas que son combinados con una matriz polimérica para crear un material compuesto [1]-[3], es decir, es la combinación de elementos de madera con polímeros termoestables o termoplásticos [1]. Estos compuestos se han desarrollado exitosamente como materiales de ingeniería, con importantes aplicaciones en la construcción, sector automotriz, empaques y materiales de decoración [4], [5]. La participación de mercado de los WPC ha crecido anualmente alrededor del 3 % a partir de 2012 [6], [7] y la tendencia continúa en aumento [8].

Estos compuestos son preparados utilizando partículas de desecho de la madera en una matriz polimérica mediante diferentes métodos de fabricación, como extrusión, compresión, moldeo por inyección e impresión 3D [9].

La importancia de los compuestos madera-plástico radica en que son materiales amigables con el medio ambiente siempre y cuando los componentes sean renovables, además de que han mostrado un gran desempeño debido a sus propiedades mejoradas y costos reducidos en relación con otros materiales con propiedades similares. Por ejemplo, un tablón para piso de exteriores puede ser conseguido en 18 dólares estadounidenses el metro cuadrado [10], mientras que un piso de bambú costaría 67 dólares [11]. La diferencia de precio entre ambos productos es de 372 %. Comparados con la madera, los WPC muestran una gran resistencia y dureza; niveles bajos de costo, densidad y emisiones de CO₂; durabilidad; biodegradabilidad, y además requieren un mantenimiento mínimo, absorben menos humedad, poseen una gran estabilidad dimensional y mayor resistencia a la degradación y desgaste biológicos [4], [12], [13].

La madera es un compuesto rico en celulosa, hemicelulosa y lignina [9]. El material utilizado en estos compuestos proviene del aserrín producido durante la fabricación de madera y sus productos, y es una opción mucho más económica para producir que el plástico (Figura 1). La industria de madera genera del 45-52 % de residuos en forma de harina o aserrín [9]. Esto hace que el costo de los WPC sea más bajo para los consumidores [14]. Por lo tanto, la madera es utilizada con frecuencia en plásticos

como una forma de reducir el costo en comparación con un producto completamente plástico. Asimismo, la madera —así como las fibras naturales en general— es un material biodegradable, de baja densidad, de naturaleza abrasiva baja, gran resistencia y un alto módulo de elasticidad [15], propiedades que finalmente son conferidas a los compuestos de madera-plástico.



Figura 1. Ciclo de vida de la madera de la cuna a la fábrica (*cradle-to-gate*). Fuente: Elaboración propia, de acuerdo con las normas EN 15804 y EN 16485, adaptada de Sommerhuber *et al.* [16].

Los polímeros juegan un rol muy importante en estos compuestos por sus propiedades versátiles, su manufacturabilidad, bajo peso, resistencia a la rotura y bajo costo, y estos pueden ser combinados con una gran variedad de materiales para mejorar sus propiedades. Sin embargo, se conoce que la adhesión entre la matriz polimérica y las fibras naturales ha resultado ser pobre, por lo que se recurre al uso de agentes que mejoren su compatibilidad. La incorporación de estos agentes puede mejorar la adhesión interfacial, reduce los espacios y bloquea los grupos hidrófilos en la madera, además de reducir notablemente la absorción de humedad del compuesto madera-plástico [13].

Se ha utilizado el polipropileno anhídrido maleico (MAPP) como agente acoplador, ya que promueve el enlace químico con la superficie de las fibras y los grupos hidroxilos disponibles, creando la interacción necesaria en la interfaz del material compuesto [17]. De la misma manera, se ha usado la montmorillonita con harina de soya termoquímicamente modificada a manera de adhesivo. Este material compuesto permitió una buena dispersión y es un material compuesto con un adhesivo más amigable con el medio ambiente [18].

Los residuos plásticos tienen efectos catastróficos sobre el ecosistema entero y su eliminación ha producido preocupación en el mundo. Se estima que tan solo en Canadá se generan cada año más de 750 000 toneladas de residuos de avena. El uso de estos residuos con polímeros biodegradables para producir materiales verdes podría agregar valor a los agrorresiduos [19]. En el mismo

tenor se encuentra la madera, que genera, al ser procesada, toneladas de residuos sólidos que son abandonados o quemados como un combustible de bajo valor. La incineración de la harina de madera para generar energía no solamente representa un combustible de bajo valor, sino que produce esmog secundario sumamente dañino [2]. Reciclar y reutilizar es uno de los procesos para reducir la contaminación ambiental, siendo este último uno de los objetivos principales de los compuestos de madera-plástico (Figura 2), pues tan solo un fabricante de puertas hechas con WPC previene anualmente la destrucción de tres millones de árboles [20]. Del mismo modo, los residuos de madera como reforzadores de materiales compuestos podrían realizar una importante contribución al reciclado y reducción de emisiones de CO₂ [21].

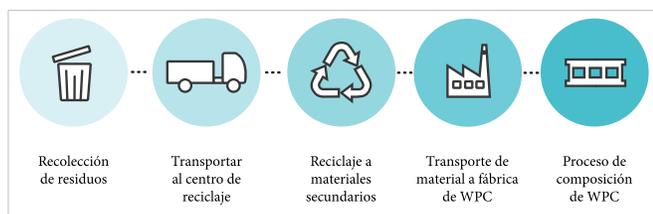


Figura 2. Ciclo de vida de material reciclado de la cuna a la fábrica (*cradle-to-gate*). Fuente: Elaboración propia, de acuerdo con las normas EN 15804 y EN 16485, adaptada de Sommerhuber *et al.* [16].

En los compuestos madera-plástico comerciales, el contenido de harina de madera se encuentra en el rango del 50-60 % [2], [22]. Sin embargo, a pesar de las ventajas de los WPC, su uso está limitado a técnicas de manufactura convencionales, como extrusión, compresión y moldeo por inyección [23].

Las propiedades mecánicas de los materiales compuestos madera-plástico dependen de las propiedades de las partículas de madera, de los polímeros, de las concentraciones de las partículas, la geometría de las partículas, adhesión interfacial, compatibilidad y humedadabilidad (Tabla 1) [9]. La compatibilidad interfacial de los enlaces entre el polímero y el relleno de madero son indispensables para lograr una adecuada integración de propiedades [22].

Los biocompuestos con madera o fibras naturales son considerados una alternativa de materiales sustentables con una baja huella ambiental y una reducida huella de carbono, ofreciendo materiales funcionales para la industria mueblera, instrumentos musicales, juguetes, peines y bandejas, entre otros [24].

TABLA 1
GEOMETRÍA Y PROPIEDADES EVALUADAS DE LA MADERA UTILIZADA EN LOS MATERIALES COMPUESTOS

MATERIAL COMPUESTO	PORCENTAJE DE RESIDUOS DE MADERA	GEOMETRÍA DE LA MADERA	PROPIEDADES EVALUADAS	FUENTE
Polipropileno (PP) / madera	30 %	Polvos y fibras	Las propiedades mecánicas de los polvos demostraron una mejora del Módulo de Young vs. la matriz pura del 84 % y un 14 %.	[21]
Madera de álamo y polietileno de alta densidad con nanomontmorillonita	45-50 %	Fibras	Las propiedades mecánicas del compuesto aumentaron con el incremento de silano y del nanomontmorillonita, obteniendo valores máximos de 38.1 MPa y 60.8 MPa.	[25]
Harina de madera con celulosa y de celulosa con lignina	20-40 %	Nanofibras	Se elaboraron contenedores de alimentos con valores del Módulo de Young mejores que los de contenedores comerciales de cartón, aumentando todavía más con contenido de lignina.	[26]

Una alternativa a este remplazo de materiales es la utilización de nanotecnología. La incorporación de nanopartículas como relleno reforzador es un método para mejorar las propiedades generales de los compuestos de madera-plástico [27]. Las nanopartículas son estructuras con tamaños inferiores a 100 nanómetros que pueden ser sintetizadas a partir de diferentes materiales [28] y han sido utilizadas debido a sus propiedades eléctricas, ópticas y magnéticas [29]. Los nanorrellenos más utilizados actualmente son las nanoarcillas y nanotubos de

carbono sintéticos, sin embargo, el uso de óxidos a nanoescala ha aumentado debido a que estos químicos no son costosos, están frecuentemente disponibles y son termoestables y amigables con el medio ambiente [30].

Los materiales compuestos madera-plástico son apropiados para diferentes aplicaciones. No obstante, tienen algunas desventajas, como la absorción de agua, la vulnerabilidad al fuego, el deterioro por hongos y el ataque de insectos y termitas, por lo que las nanopar-

tículas pudieran ofrecer alternativas para mejorar estas propiedades [31].

Por lo tanto, el objetivo de este artículo de revisión es proveer un estado del arte sobre los estudios que se han realizado a lo largo de la última década sobre compuestos de madera y plástico reforzados con diferentes nanopartículas.

II. METODOLOGÍA

Esta revisión sistemática de la literatura relacionada con nanocompuestos madera-plástico fue desarrollada como lo indica la Figura 3. La revisión fue desarrollada utilizando las siguientes palabras de búsqueda: *wood plastic composite*, *nano wood plastic composite*, *nanoparticle wood plastic composite* en título, *abstract* o palabras clave. La investigación fue desarrollada en las bases de datos Science Direct, Springer Link, Ebsco y Google Scholar. La búsqueda fue desarrollada en inglés debido a que en español no se obtenían resultados relevantes. Se analizaron 110 artículos, libros o capítulos de libros.



Figura 3. Diagrama de flujo de la revisión de literatura implementada.

Con relación al análisis de ciclo de vida y los compósitos madera-plástico, se incluyó en la búsqueda *ecological*, *life cycle assessment* y *LCA*, obteniendo dos artículos en donde reportan casos relevantes, lo que implica un área de oportunidad para investigaciones experimentales y teóricas posteriores. A pesar de que existe un número importante de publicaciones relacionadas con compósitos madera-plástico, el uso de nanopartículas ha sido reportado en menor cantidad, encontrando solo 48 referencias. Por este motivo, se seleccionaron las publicaciones de los últimos diez años, con la finalidad de tener un estado del arte exhaustivo que las considerara. Para la selección de estos artículos o libros, se utilizaron los criterios mencionados en la Tabla 2.

TABLA 2
CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN EMPLEADOS PARA LA BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

CRITERIOS DE INCLUSIÓN	CRITERIOS DE EXCLUSIÓN
Títulos publicados entre los años 2011 al 2021.	Publicaciones previas al 2011.
Publicaciones en el idioma inglés.	Artículos publicados en otros idiomas.
Publicaciones relacionadas a los nanocompuestos madera-plástico y compuestos madera-plástico.	

III. NANOPARTÍCULAS Y ÓXIDOS METÁLICOS EN COMPUESTOS DE MADERA-PLÁSTICO

En los compuestos poliméricos, diferentes tipos de nanopartículas metálicas y de óxidos metálicos son ampliamente utilizados para mejorar las propiedades térmicas y mecánicas, entre otras (Figura 4). Principalmente, han sido utilizadas cuatro tipos de nanopartículas: Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 y ZrO_2 [32].

Ye [33] utilizó porcentajes del 1 al 4 % de nano-óxido de zinc debido a que es un material de bajo costo, no tóxico, con alta estabilidad química y que tiene la habilidad de absorber la radiación UV en un compósito madera-PP, en donde se mejoraron las propiedades mecánicas de un 43 % a un 90 %, conduciendo también a una viscoelasticidad y estabilidad térmica mejoradas. Kiaei *et al.* [34] demostraron que las nanopartículas de óxido de zinc mejoraron las propiedades mecánicas, morfológicas y de inflamabilidad de un compuesto de madera y polietileno de alta densidad, el primero utilizado como relleno del compuesto.

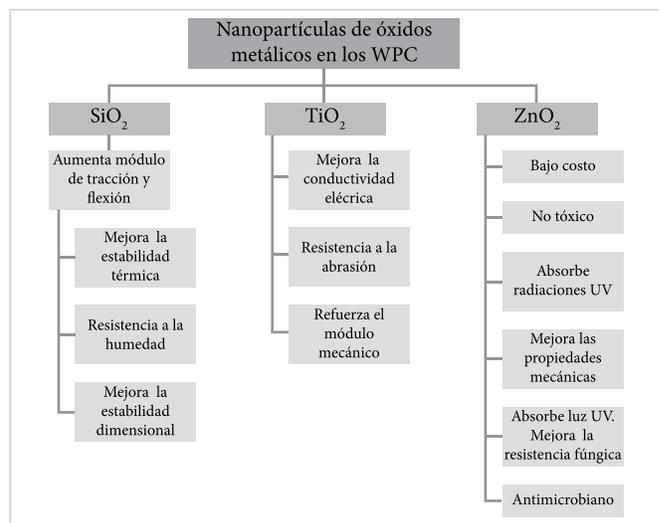


Figura 4. Propiedades de óxidos metálicos usados en WPC.

Farahani y Banikarim [35] produjeron un compuesto de álamo (*Populus deltoides*), PP, polietileno/anhídrido maleico y nanopartículas de óxido de zinc (ZnO), y comprobaron la efectividad de estas últimas en la biodegradación del compuesto madera-plástico. Al final de este estudio, los investigadores confirmaron que, efectivamente, las nanopartículas de óxido de zinc mejoraron considerablemente la resistencia a la descomposición del compuesto contra hongos. Rasouli *et al.* [36] realizaron otro estudio con nanopartículas de óxido de zinc para analizar sus efectos como estabilizadores UV sobre el comportamiento a la intemperie de un compuesto de harina de madera de haya y polietileno de alta densidad (HDPE), el cual obtuvo resultados positivos, pues el uso de nanopartículas de óxido de zinc en la estructura del WPC disminuyó la degradación de la superficie durante la intemperie, evidenciada al observar una menor formación de grietas, pérdida de resistencia a la tracción y cambios en el ángulo de contacto. Estas nanopartículas también absorbieron una amplia gama de radiación UV y limitaron el deterioro de las cadenas de polímero ubicadas en el límite de las partículas de ZnO, especialmente en la superficie del compuesto. Asimismo, produjeron radicales libres, lo que provocó la oxidación del polímero y la formación de carboxilato de zinc.

Dang *et al.* [37] fabricaron un compuesto de fibras de madera con polietileno y nanopartículas de ZnO para comprobar si existe una alteración en la absorción de microondas y actividad fotocatalítica mediante un sencillo método de prensado en caliente. El estudio demostró que este nanocompuesto poseía propiedades de mayor absorción de microondas y propiedades mecánicas superiores; además, podía degradar el MO bajo la irradiación UV.

Bazant *et al.* [38] modificaron un compuesto de harina de madera BK 40-90 y policloruro de vinilo (PVC) plastificado con nanopartículas de plata (Ag) y ZnO nanoestructurado con la finalidad de conferir propiedades antimicrobianas contra bacterias patógenas humanas a la superficie del nanocompuesto. En esta investigación se destacó que la harina de madera no se utilizó como relleno de refuerzo (como comúnmente se utiliza en los compuestos de madera-plástico), sino como vehículo para el relleno nanoestructurado híbrido de Ag/ZnO. El artículo no hace mención de estudios de biocompatibilidad, pero sí concluye que los resultados obtenidos por los investigadores prueban la posibilidad de obtener materiales con excelentes propiedades antimicrobia-

nas con el potencial de uso médico o higiénico, incluso siendo WPC. No obstante, debido a estos resultados sería relevante estudiar las propiedades de biocompatibilidad de los WPC.

Masoudifar *et al.* [39] estudiaron los efectos de las nanopartículas de dióxido de titanio sobre la elasticidad y morfología de los nanocompuestos de harina de mezclas de madera dura y PP. Para eliminar la incompatibilidad entre los compuestos, se utilizó MAPP. Al añadir nanopartículas de TiO₂, hubo un incremento en módulos y en la fuerza de flexión y tracción, sin embargo, al sobrepasar cierta cantidad de estas nanopartículas podría causar una aglomeración, comprometiendo las fuerzas mecánicas y de impacto del material. Kaymakci [40] también estudió los efectos del dióxido de titanio en algunas propiedades mecánicas, térmicas y superficiales en un nanocompuesto de harina de madera de pino amarillo y PP, utilizando PP anhídrido maleico como compatibilizador. Al finalizar, se concluye que las propiedades de flexión y tracción del nanocompuesto de madera-plástico mejoraron al incrementar cantidades de TiO₂, además de que hubo un aumento de ceniza residual en porcentaje de peso, mejorando de un 11 a un 20 % en peso y mejor estabilidad térmica. Asimismo, se concluye que con el incremento de TiO₂ se redujo la rugosidad de la superficie del material.

Farsi [41] desarrolló un compuesto de madera y corteza de haya y HDPE modificado con nanopartículas de óxido de silicio (SiO₂). La adición de este mejoró el módulo elástico, la fuerza de tracción del nanocompuesto y la resistencia al impacto (para un porcentaje de SiO₂ adecuado). No obstante, el óxido de zinc aumentó la absorción del agua y la hinchazón de la madera. Por esto, Farsi empleó una mayor cantidad de harina de corteza de haya para contrarrestar estos efectos no deseados en el nanocompuesto. El-Bashir [42] utilizó SiO₂ a nanoescala sobre un compuesto de madera-plástico, el cual se compuso específicamente de estireno y fibras de palmera, usando como solvente peróxido de benzoilo. A bajas concentraciones de nanosílice, se encontró que las fibras de celulosa estaban bien adheridas y distribuidas uniformemente dentro de la matriz nanocompuesta de PS/SiO₂. Además, mejoró su desempeño mecánico, resistencia a la abrasión y la absorción de agua del compuesto. Liu *et al.* [43] realizaron pruebas con estabilizadores ligeros sobre un compuesto de polietileno de alta densidad como matriz polimérica y harina de madera de álamo por medio de la tecnología de co-extrusión

con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas y antienviejamiento ultravioleta. Uno de estos estabilizadores consistió en SiO_2 a nanoescala. Los investigadores concluyeron que, efectivamente, el nano SiO_2 mejora notablemente las propiedades antienviejamiento por UV del compuesto, mientras que sus propiedades mecánicas no se vieron afectadas. Devi & Maji [44] también emplearon SiO_2 a nanoescala para mejorar algunas propiedades de un compuesto de madera de ceiba, estireno acrilonitrilo y nanoarcilla. Se reportó que la incorporación de nanoarcilla y nanosílice dentro de la madera mostró una buena estabilidad térmica y resultó en una estructura exfoliada. Asimismo, se observó una mejora máxima en las propiedades de flexión y de tracción, absorción de agua, estabilidad dimensional y en el valor del LOI (*limiting oxygen index*).

Ye *et al.* [45] realizaron un material compuesto con PP ensamblando fibras de madera con nano-óxido de silicio. Los esfuerzos de tensión y de flexión, así como la temperatura de transición vítrea, fueron enfatizados por la fuerte adhesión superficial entre las fibras. Con porcentajes del 3.60 % se mejoró la resistencia al agua y a la luz ultravioleta, mientras que el esfuerzo de tensión mejoró al 173 % con respecto al valor del módulo del producto original. Por otro lado, Zhou, *et al.* [46] realizaron un WPC reforzado con nanopartículas de óxido de silicio. De acuerdo con este estudio, el material compuesto polietileno de alta densidad/madera mejoró el esfuerzo mecánico en un 10 %, comparado con el material compuesto sin nanopartículas.

Mashkour y Ranjbar [47] demostraron que la magnetita ($\text{Fe}_3\text{O}_4@$) a nanoescala tiene efectos sobre los módulos mecánicos de un compuesto de harina de madera de álamo y PP por medio de un estudio con algunos especímenes, en donde la cantidad de harina de madera virgen (VWF) y harina de madera con magnetita (MWF) varían. Se encontró la sustitución completa de VWF con la MWF incrementó la absorción de agua y la hinchazón del espesor del compuesto superparamagnético. Los investigadores mencionan que, comparado con las propiedades mecánicas, las propiedades físicas de los WPC superparamagnéticos se vieron más influenciados por los aumentos en proporción de la MWF. Las resistencias de flexión y de tracción se incrementaron al usar cierta cantidad de harina de madera con FeO_4 . No obstante, los aumentos en la relación en peso de los MWF disminuyen la interfaz entre el relleno y la matriz y aumentan considerablemente el tamaño de las

microfisuras dentro de la estructura de las muestras de prueba.

Samariha y Bazayr [48] estudiaron los efectos del nanosílice y el hidróxido de aluminio sobre las propiedades térmicas, inflamables y morfológicas de nanocompuestos hechos de polietileno de alta densidad reciclado y harina de cartón corrugado reciclado. Se mostró una mejora en la estabilidad térmica y de la pérdida de ignición al aumentar la cantidad de nanosílice sobre el nanocompuesto. Asimismo, se mostró que la nanosílice produjo mayor compatibilidad y proporcionó un mejor vínculo entre la fibra y la matriz polimérica.

IV. NANOPARTÍCULAS CERÁMICAS EN COMPUESTOS DE MADERA-PLÁSTICO

La nanoarcilla ha sido utilizada como un compatibilizador, logrando mostrar que su inclusión en los composites madera-plástico proporciona una mejora en las propiedades térmicas de los compuestos. Es decir, se logra que el PP se oxide y actúe como un aislante, previniendo el éxodo de energía durante la combustión. Del mismo modo, la velocidad de degradación térmica permitió una difusión en el oxígeno y una mejor efusión de gases, previniendo la descomposición volátil de gases (Figura 5) [49]. Este tipo de nanoarcillas ha mostrado beneficios contra el crecimiento de hongos. De esta manera, Bari *et al.* [50] estudiaron los efectos de la nanoarcilla en la resistencia biológica de los compuestos de madera-plástico contra cinco hongos que deterioran la madera. El material se elaboró con PP, harina de madera de álamo (*Populus nigra*), polietileno injertado con anhídrido maleico como compatibilizador y nanoarcilla en porcentajes del 2 al 6 % del peso. Este último resultó tener efectos antifúngicos en ciertos porcentajes y redujo la absorción del agua en la madera.

De igual forma, Nafchi *et al.* [49], [51] llevaron a cabo un experimento con partículas de nanoarcilla, mezcla de fibras naturales y PP, usando PP oxidado como compatibilizador. En este estudio se demuestra la mejora de la estabilidad del compuesto madera-plástico contra altas temperaturas. Durante el experimento, el polipropileno oxidado empezó su descomposición a los 290 °C, mientras que el polipropileno virgen lo hizo a 250 °C. Se resalta que el propileno oxidado —en comparación con el PP crudo— muestra mayor estabilidad contra el incremento de temperatura y también libera menos energía durante la degradación térmica.

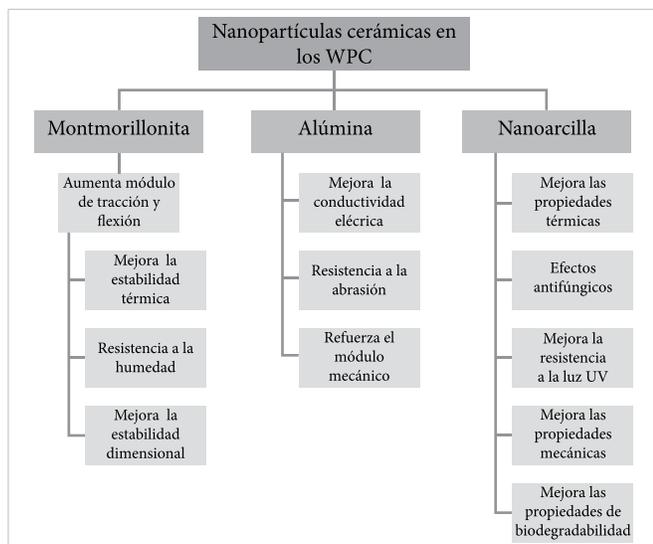


Figura 5. Propiedades de cerámicas usadas en WPC.

Del mismo modo, dado que uno de los principales usos de los WPC son exteriores, se evaluaron los efectos de exposición a luz UV de nanocompuestos de polietileno, harina de madera y nanoarcilla. A través de una exposición de 2000 h a radiación UV se simularon los efectos de exposición a luz solar. Los resultados de esta investigación mostraron que la absorción de agua aumentaba después de la exposición a luz UV, pero la nanoarcilla reducía la intensidad de este efecto. No obstante, la nanoarcilla disminuyó ligeramente los módulos de elasticidad con porcentajes de 2 % de peso de nanoarcilla [52].

Kaymakci [53] reportó que las nanofibras de arcilla de sepiolita tienen efectos sobre las propiedades físicas, mecánicas y térmicas de un nanocompuesto de madera y plástico. Encontró que al incrementar la cantidad de nanofibras de arcilla de sepiolita en un nanocompuesto de PP y harina de madera de pino amarillo mejoró las propiedades de flexión y tensión, y redujo el hinchamiento de espesor y la absorción de agua del material.

Golmakani *et al.* [54] encontraron que la nanoarcilla refuerza las propiedades mecánicas de un compuesto de polietileno y harina de madera. Asimismo, la inclusión de estas nanopartículas de arcilla poseen un efecto significativo en las propiedades físicas del material.

Alosaimi *et al.* [55] encontraron que dos tipos de nanoarcilla —específicamente halloysita y bentonita— modificadas mediante una reacción de intercambio iónico con diferentes tensoactivos mejoraron las propiedades de tracción y flexión de un nanocompuesto de harina de madera de haya y polisulfona disuelta en cloroformo.

Seo *et al.* [56] demostraron que la utilización de nanoarcilla y fibra de vidrio en un compuesto reciclado de madera, PP y polietileno tiene efecto sobre las propiedades microestructurales, mecánicas, térmicas y de absorción de agua, pues mejoró la unión interfacial entre la matriz polimérica y los rellenos del compuesto. También aumentó la resistencia de flexión y tracción, mientras que otorgaron estabilidad térmica al compuesto.

Deka *et al.* [57] produjeron un material nanocompuesto de una mezcla plástica con residuos plásticos de HDPE, polietileno de baja densidad (LDPE), PP y PVC, y madera de carrizo (*Phragmites karka*) reforzado con nanoarcilla modificada con octadecilamina y aminopropiltriétoxisilano. Los investigadores encontraron que la arcilla mejoró la estabilidad térmica, las propiedades mecánico-dinámicas del compuesto y su biodegradabilidad, sin embargo, las propiedades de flexión y tracción se vieron afectadas debido a la degradación bacteriana de los compuestos.

Nemati *et al.* [58] encontraron que la nanoarcilla a base de montmorillonita natural reduce la ignición potencial y evita la liberación de gases volátiles e inflamables de los poros a la superficie de un compuesto de poliestireno reciclado y harina de madera de abeto. Además, al incrementar la cantidad de nanoarcilla al compuesto, se redujo la porosidad de este.

Se han utilizado nanopartículas de alúmina como reforzadores de polímeros para resinas dentales y aislantes epóxicos eléctricos. Con concentraciones pequeñas de 5 % del peso de madera, se mejora el esfuerzo mecánico, resistencia a la abrasión, conductividad térmica y resistencia eléctrica [59]. Alabduljabbar *et al.* [60] utilizaron nanopartículas de alúmina para el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de un panel de madera de densidad media. En este estudio se pudo lograr una mejora significativa en las propiedades físicas y mecánicas. A concentraciones bajas de un 3 a 4.5 % de alúmina, se obtuvieron aumentos en los módulos de elasticidad.

Kord y Tajik [61] también encontraron que se aumentó el tiempo de propagación del sonido y la absorbancia de la energía del sonido de los compuestos con la adición de la montmorillonita organomodificada a un compuesto de PP y harina de madera. El módulo de tracción incrementó al agregar MTOM, sin embargo, al exceder cierta cantidad este módulo disminuyó.

Meng *et al.* [62] demostraron que el uso de montmorillonita natural modificada con sal cuaternaria de amonio a nanoescala modifica las propiedades mecánicas y térmicas de un nanocompuesto de ácido poliláctico (PLA) y harina de maple. Esta nanoarcilla aumentó el módulo de tracción, disminuyó considerablemente la velocidad de la descomposición térmica y cambió la velocidad máxima a una temperatura más alta. No obstante, la adición de la nanoarcilla comprometió propiedades como la fuerza de impacto y la adhesión entre la harina de madera y la matriz PLA, pues las partículas de arcilla causan poros en algunas partes del PLA que debilitan las propiedades mecánicas. Zahedi *et al.* [63] también experimentó con montmorillonita natural. Sin embargo, en este caso se trabajó con montmorillonita natural modificada con dimetil, sal de amonio cuaternario de sebo deshidrogenado como refuerzo de un nanocompuesto de PP y harina de cáscara de almendras. El estudio mostró que la montmorillonita natural mejoró las propiedades de flexión y tracción, disminuyó la absorción del agua y la hinchazón de espesor del material y resultó ser de gran apoyo para la adhesión entre los compuestos, pues se redujo el número de cavidades —además, se demuestra que la harina de cáscara de almendra mejora considerablemente las propiedades del nanocompuesto—.

Kord *et al.* [64] investigaron la influencia de un agente espumante químico a base de CBA exotérmico sobre las propiedades elásticas y morfológicas de un compuesto de HDPE y harina de madera, reforzado con montmorillonita modificada con un sebo dimetil-deshidrogenado, amonio cuaternario con un arcilla. Se demostró una mejora en el módulo de tracción, la humedabilidad y el hinchamiento del espesor de los compuestos con una mayor carga de nanoarcilla. No obstante, un aumento en la concentración del agente espumante y la nanoarcilla causó un efecto contrario en muchos casos.

Con respecto al uso de nanopartículas cerámicas en compuestos de madera-plástico reciclado, Danesh *et al.* [65] mostraron que la nanoarcilla tuvo efectos positivos sobre la elasticidad, morfología y propiedades térmicas del PP reciclado y residuo de periódico como relleno. Con la adición de la nanoarcilla al compuesto reciclado, se incrementaron el módulo de tensión, la resistencia a la tensión, y la temperatura de descomposición al 90 % de su pérdida de peso; sin embargo, el efecto de la nanoarcilla sobre todas las propiedades del nanocompuesto fue más potente en muestras que se hicieron con PP virgen.

Kord [66] estudió los efectos del silicato en nanocapas sobre las propiedades físicas y mecánicas de un compuesto de PP y bagazo. En esta investigación se encontró que las nanocapas de silicato incrementan el módulo de tracción y de flexión del nanocompuesto. Sin embargo, la resistencia al impacto y la absorción de agua disminuyeron con un incremento de las nanocapas de silicato. Asimismo, las propiedades físicas y mecánicas mejoraron con la adición de anhídrido maleico al nanocompuesto.

V. NANOPARTÍCULAS BASADAS EN CARBONO EN COMPUESTOS DE MADERA-PLÁSTICO

El carbono es un elemento único y muy versátil que es capaz de formar diferentes arquitecturas a nanoescala. En esta era de investigación de nanocompuestos, han surgido nuevos materiales a base de carbono a nanoescala y se prevé que surgirán más [67]. De esta manera, han sido utilizadas diferentes partículas basadas en carbono para aprovechar sus propiedades a nanoescala en WPC (Figura 6).

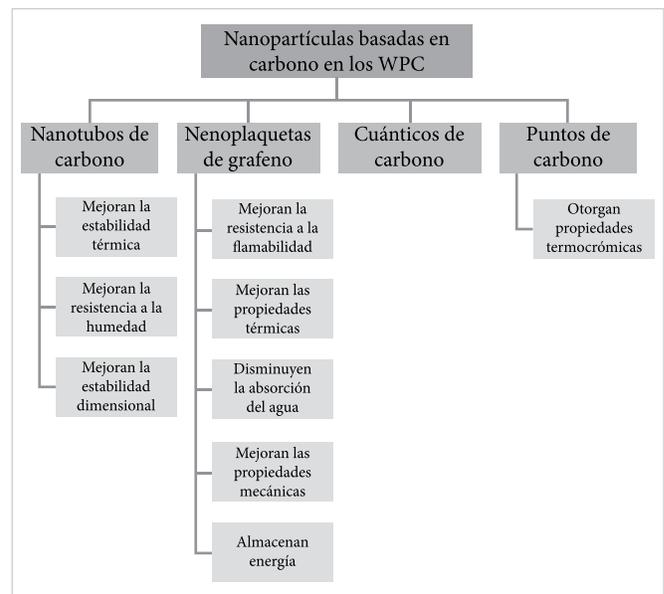


Figura 6. Propiedades de partículas basadas en carbono usadas en WPC.

Ge *et al.* [68] descubrieron el uso potencial de diferentes tipos de carbón en la producción de un compuesto de pino deteriorado y PVC. Se utilizaron los nanotubos de carbono, nanomaterial que resultó proporcionar una mejor degradación térmica que un compuesto de madera-plástico normal.

Sheshmani *et al.* [69] estudiaron las nanoplaquetas de grafeno como agentes de refuerzo en las propiedades elásticas de los compuestos de madera y plástico. El material consistió en harina de madera de álamo (*Populus deltoides*), PP y polvo de nanoplaquetas de grafeno de grado AO-4. La incorporación de estas nanoplaquetas mejoró las propiedades mecánicas (como el incremento de la fuerza de tracción), disminuyeron la absorción del agua (y, por ende, la hinchazón de la madera) y, finalmente, las temperaturas de degradación cambiaron a valores más altos. Por otro lado, se ha utilizado óxido de grafeno como nanorrelleno en una matriz de almidón de madera, mejorando las propiedades mecánicas, térmicas, resistencia a la flamabilidad y al agua [70].

Kord y Roohani [71] encontraron que la adición de nanotubos de carbono (CNT) mejoró la resistencia al agua y estabilidad dimensional de un nanocompuesto de fibras de cartón corrugado reciclado y HDPE, utilizando polipropileno anhídrido maleico como compatibilizador debido al efecto de barrera de los nanotubos de carbono, el cual inhibe la penetración del agua al material. Además, el hinchamiento del material fue menor al incrementar la cantidad de nanotubos de carbono.

Farsheh *et al.* [72] realizaron una investigación sobre las propiedades mecánicas y morfológicas de nanocompuestos espumados a base de PVC, harina de madera de álamo y de nanotubos de carbono multipared (MWCNT) como refuerzo. También se utilizó un agente espumante químico exotérmico, y finalmente, óxido de zinc como catalizador para disminuir la temperatura de descomposición del agente espumante químico. Los investigadores encontraron que la densidad celular de la espuma de madera-plástico aumentó en presencia de los CNT, mientras que el tamaño celular disminuyó. La densidad, la absorción de agua e hinchazón del espesor de las muestras espumadas decrecieron con la adición de los nanotubos de carbono. También, aumentó la resistencia a la tensión y al módulo de tensión del nanocompuesto.

Ashori *et al.* [73] demostraron que el uso de los MWCNT también mejoraron las propiedades físicas y mecánicas sobre un compuesto de harina de bagazo y HDPE. Ayrimis y Kaymakci [74] reforzaron un nanocompuesto de harina de álamo y PP con MWCNT y reportaron que estos mejoraron la resistencia, el módulo y la estabilidad térmica del nanocompuesto. Zhang *et al.* [75] reportaron los efectos de un tratamiento de microondas en las propiedades de flexión de un material compuesto madera-plástico con nanotubos de carbono. El com-

puesto fue elaborado con polvos de madera de pino y poliéster sulfona. El tratamiento de microondas permitió mejorar el esfuerzo mecánico del material hasta un 64 % por medio de una mejora de la flexión interfacial entre la matriz polimérica y el polvo de madera.

Por otro lado, con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas del material compuesto, se han preparado nanocompuestos con almidón de madera utilizando nanotubos de pared múltiple, con lo que se mejoró las propiedades térmicas, mecánicas, flamabilidad y resistencia al agua [70]. Liu *et al.* [76] desarrollaron un material compuesto fluorescente termocrómico basado en puntos de carbono de agregación inducida para una conversión y almacenamiento de energía solar térmica. En este sentido, Zhou *et al.* [1] desarrollaron un material compuesto de polvos de madera con poliuretano (PU), dopado con nano hojas de óxido de grafeno para el almacenamiento de energía.

VI. NANOPARTÍCULAS MIXTAS EN COMPUESTOS DE MADERA-PLÁSTICO

Deka *et al.* [77] encontraron que nanopartículas de ZnO, SiO₂ y nanoarcilla modificada con octadecilamina y aminopropiltrióxido silano tienen efectos sobre un compuesto de harina de caña tropical (*Phragmites karka*) y de una mezcla polimérica de residuos de HDPE, LDPE, PP y PVC, mejorando sus propiedades mecánicas, térmicas, su dureza y reduciendo la capacidad de absorción de agua. Los materiales de nanocelulosa están siendo utilizados debido a su biodegradabilidad, renovabilidad, baja densidad, larga área de superficie específica y resistencia a la grasa y aceite [26]. Se ha utilizado polietilenina con nanopartículas de celulosa ricas en grupos hidroxilo, para la separación de metales pesados. De igual manera, se han elaborado materiales compuestos con 1-tetradecanol con propiedades hidrofóbicas [2]. Bisht *et al.* [78] elaboraron un compuesto madera plástico transparente utilizando resina epóxica dopada con un absorbente de luz UV, que a pesar de lo anterior requiere otro estabilizador para evitar su degradación en usos de exteriores.

Zhou *et al.* [1] utilizaron un material compuesto con polietilenoimina con montmorillonita y nanotubos de carbono grafitizados que fueron depositados en ensamblaje capa por capa con la finalidad de proveer barrera térmica y de gases para prevenir la flamabilidad.

VII. COMPUESTOS MADERA-PLÁSTICO EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS

El uso de los compósitos madera-plástico responde principalmente al aumento del costo de los plásticos, así como a la necesidad ambiental de utilizar materiales renovables y biodegradables [79]. Los usos comerciales de los WPC se han incrementado, remplazando muchos productos (Figura 4), especialmente en aplicaciones para exteriores [80], como mesas para día de campos y bancos, materiales para construcción [81], decoración de interiores, productos de arquitectura de jardines [82], marcos para puertas y ventanas, macetas, techos, gabinetes para aparatos electrónicos, empaques para la industria alimenticia, sensores basados en papel, industria médica y muebles [9]. Actualmente, con la incorporación de harina de madera y polímero, se utilizan en la fabricación de cocinas modulares, tabiques, muebles de oficina, paneles de pared, techo, ventanas, etc. (Figura 7) [83].

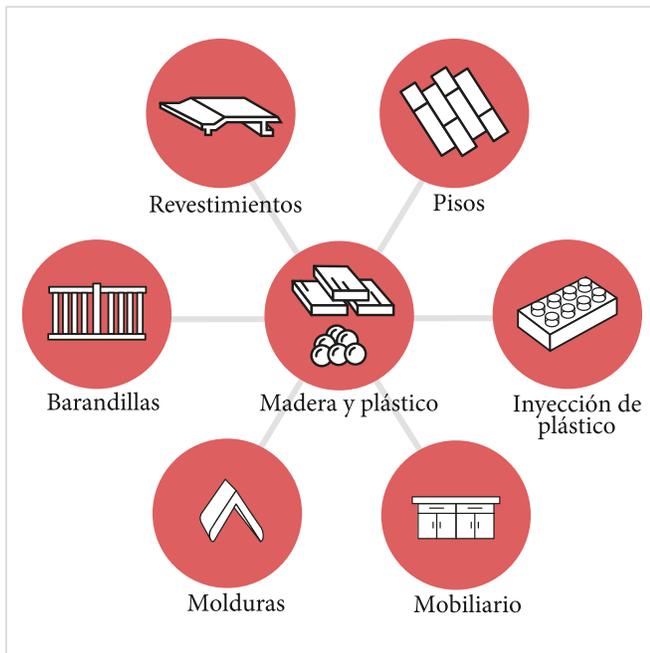


Figura 7. Productos más comercializados a partir de compuestos de madera y plástico.

El mercado de los materiales compuestos madera-plástico se considera en crecimiento. Hasta 2019 representaba un mercado de 2.12 billones de dólares en el mercado estadounidense [84]. Algunas compañías que comercializan productos a base de WPC se resumen en la Tabla 3.

TABLA 3
COMPAÑÍAS PROVEEDORAS DE PRODUCTOS CON WPC

COMPAÑÍA	TIPO DE PRODUCTOS	FUENTE:
Dow	Polímeros con silicón, polietileno de alta densidad.	[85]
Woodplastic	Madera para decoración.	[86]
Jeluplast	Jeluplast® para inyección de plásticos.	[87]
Oakio	WPC para decoración, bardas, muebles, pisos, pérgolas, pedestales, bodegas exteriores, paneles, marcos para albercas, etc.	[88]
Azo	WPC para patios, balcones, guías de jardines, etc.	[89]
Hosung	WPC para decoración, molduras y pisos.	[90]
Floresta	WPC para cocinas modulares, muebles, muebles para baño, marcos puertas y ventanas, techos interiores, muebles de oficina.	[91]
Seventrust	Nano WPC que se utilizan para elaborar paneles de madera para diferentes aplicaciones.	[92]

Una de las ventajas de los WPC es que teóricamente son vistos como compósitos verdes que utilizan solamente recursos renovables, por lo que se consideran compostables. Han sido elaborados a partir de madera decaída, ofreciendo un método para recuperar recursos de biomasa y mejorar el medio ambiente ecológico [4]. Esto permite que sean vistos como prometedores en el área de la construcción, especialmente cuando los arquitectos buscan un certificado de construcción verde [93].

Los WPC también se utilizan en una gran variedad de aplicaciones en la industria automotriz, marina, electrónica y aeroespacial, principalmente como remplazo de la fibra de vidrio y el acero [94], [95]. Es importante señalar que este tipo de materiales son manufacturados principalmente utilizando las técnicas de extrusión, moldeo por inyección de plástico y moldeo por compresión [83], por lo que la diversidad de productos que pueden ser fabricados es muy amplia.

VIII. DISCUSIÓN

A pesar de que el plástico ha sido considerado una de las cinco prioridades de la economía circular, los WPC siguen enfrentando retos importantes. Uno de ellos se vincula con el hecho de que generalmente se utilizan en aplicaciones de exteriores, lo que exige propiedades me-

cánicas a largo plazo apropiadas, mejoras en su estabilidad térmica y fotodegradación [80]. No obstante, se ha comprobado por medio de las investigaciones incluidas y comparadas en este artículo que algunas nanopartículas

son capaces de mejorar las propiedades mecánicas de los compuestos de madera y plástico virgen (Tabla 4) y reciclado (Tabla 5) y las propiedades de absorción de agua de los WPC con plástico virgen (Tabla 6).

TABLA 4
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS COMPUESTOS MADERA-PLÁSTICO VIRGEN

	NANOPARTÍCULA	COMPUESTO MADERA-PLÁSTICO	% DE PESO	PROPIEDADES DE TRACCIÓN		PROPIEDADES DE FLEXIÓN		FUERZA DE IMPACTO	ALARGAMIENTO (%)	REF.
				FUERZA (MPa)	MÓDULO (GPa)	FUERZA (MPa)	MÓDULO (GPa)			
Óxidos metálicos	TiO ₂	Mezcla de madera dura + PP + NaOH	3	46	5.5297	58.27	4.589	0.47 (J/m)	-	[39]
		Pino + PP	50	27.8	1.545	64.8	5.627	-	3.9	[40]
	Fe ₃ O ₄ @	Álamo + PP		34	4.5	65	6	-	-	[47]
	SiO ₂	Haya + HDPE	4	27*	1.2*	-	-	38 (J/m)*		[41]
Fibras de palmera + estireno		2	-	-	-	-	20 (KJ/m ²)*	5.88	[42]	
Cerámicas	Nanoarcilla de sepiolita	Pino + PP	7	43.7	6.557	73.9	6.314		2.34	[53]
	Halloysita	Haya + polisulfona	-	4.97	119.43	5.7	126.23	1.74 (KJ/m ²)	-	[55]
	Bentonita		-	4.33	130.36	4.87	128.19	1.28 (KJ/m ²)	-	[55]
	Montmorillonita natural	Maple + PLA	3	40.38	7.15	65.19	5.16	-	1.15	[62]
		Cáscara de almendra + PP	3	10.53	2.12	15.17	1.13	-	-	[63]
	Montmorillonita organomodificada	Harina de madera + HDPE	4 phr**		2.75*	-	-	-	-	[64]
	Silicato en nanocapas	Bagazo + PP	3	-	3.45*	55*	-	18.2 (J/m)*	-	[66]
Carbono	Nanoplaquetas de grafeno	Álamo + PP	0.8	32*	3*	60*	55*	29 (J/m)*	1.4	[69]
	Nanotubos de carbono multipared	Álamo + PVC	2 phr	15.5*	2.5*					[72]
		Bagazo + HDPE	2	27.7	1.04	30.4	1.166	4.3 (KJ/m ²)	12.6	[73]

*Valores aproximados. **phr = *parts per hundreds resin* (en español, equivale a pcr = partes por cien de resina).

TABLA 5
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS COMPUESTOS MADERA-PLÁSTICO RECICLADO

	NANOPARTÍCULA	COMPUESTO MADERA-PLÁSTICO	% DE PESO	PROPIEDADES DE TRACCIÓN		PROPIEDADES DE FLEXIÓN		REF.
				FUERZA (MPa)	MÓDULO (GPa)	FUERZA (MPa)	MÓDULO (GPa)	
Cerámicas	Nanoarcilla	Residuo de periódico + PP	2.5	40.5*	1.3*	-	-	[65]
	Nanoarcilla modificada c/ octadecilamina y aminopropiltrióxosilano	Carrizo + HDPE, LDPE, PP, PVC	3 (pre-degradación)	30.86	6.0548	25.87	4.76136	[57]
Mixtas	ZnO, SiO ₂ , Nanoarcilla modificada c/ octadecilamina y aminopropiltrióxosilano	Caña + HDPE, LDPE, PP, PVC	3 phr c/u	37.25	0.697	33.99	5.186	[77]

*Valores aproximados.

TABLA 6
EFECTOS DE LAS NANOPARTÍCULAS SOBRE LA ABSORCIÓN DE AGUA DE LOS NANOCOMPUESTOS DE MADERA-PLÁSTICO VIRGEN

	NANOPARTÍCULA	COMPUESTO MADERA-PLÁSTICO	% DE PESO	ABSORCIÓN DE AGUA CON NANOPARTÍCULA (%)	ABSORCIÓN DE AGUA SIN NANOPARTÍCULA (%)	REF.
Óxidos metálicos	Fe ₃ O ₄ @	Álamo + PP	40	13*	5*	[47]
	SiO ₂	Fibras de palmera + estireno	2	5*	10*	[42]
		Corteza de haya + HDPE	4	1.9*	1.4*	[41]
Cerámicas	Silicato en nanocapas	Bagazo + PP	3	2.1*	2.6*	[66]
	Montmorillonita organomodificada	Harina de madera + HDPE	6 phr	1.6*	2.3*	[64]
	Nanoarcilla de sepiolita	Pino + PP	7	2.41	2.83	[53]
Montmorillonita natural	Cáscara de almendra + PP	3	0.31	-	[63]	
Carbonos	Nanoplaquetas de grafeno	Álamo + PP	2	4*	11*	[69]
	Nanotubos de carbono multipared	Álamo + PVC (Espumado)	2 phr	.85*	1.25*	[72]
		Cartón reciclado + HDPE	5 phr	11*	16*	[71]
Otros	SiO ₂ + nanoarcilla	Ceiba + estireno acrilonitrilo	0.5	40*	210*	[44]

*Valores aproximados.

Por otro lado, es importante mencionar que este tipo de compuestos han sido considerados como un elemento importante en la economía circular. Tan solo en la Unión Europea, en 2010 se produjeron 16 toneladas de desperdicio por persona por año, de las cuales 6 toneladas terminaban como basura [96]. La estrategia de bioeconomía europea enfatiza el uso de la madera como una clave para el crecimiento sustentable, debido a sus múltiples usos como precursor renovable de la industria química y en la industria de biocombustibles, sobre todo porque la competencia de mercados ha conducido a la previsión de que para 2030 no existirá suficiente madera para este propósito [16]. Debido a lo anterior, se ha priorizado el principio de cascada por parte de los estados miembros del Marco Directivo Europeo sobre Resi-

duos, enfatizando la prevención, la preparación para el reúso, el reciclado distinto a la incineración, otros tipos de recuperaciones y disposición final [97], [98].

Los WPC han sido considerados como materiales amistosos con el medio ambiente debido a que su materia prima puede ser virgen o reciclada. No obstante, la utilización de materiales de desecho en los WPC reduce significativamente los costos de manufactura, energía y el agotamiento de materiales vírgenes. Por eso han sido considerados una de las prioridades en las estrategias de las naciones interesadas en mejorar su economía circular a través de una eficiencia en el uso de recursos, que le permitan reducir la presión en el medio ambiente (Figura 8) [80].

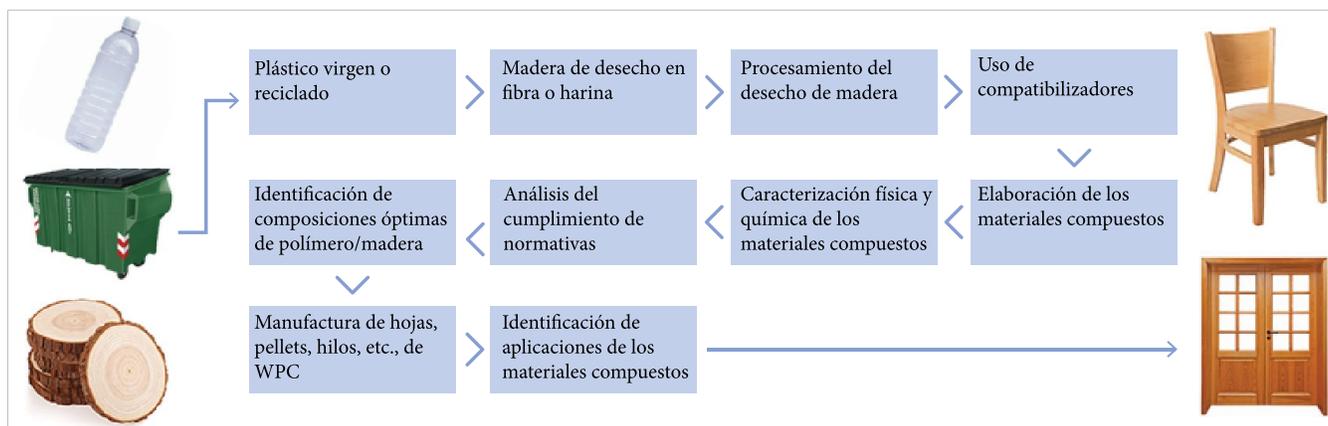


Figura 8. Proceso de fabricación de WPC y la identificación de aplicaciones en diseño de productos.

La evaluación ambiental de productos y servicios se basa en datos cuantitativos a través de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (LCA), que está estandarizada en las normas ISO 14040 e ISO 14044 [97], [98]. El LCA es un método analítico para determinar los impactos generales de un producto, servicio o tecnología sobre el medio ambiente a través del ciclo de vida. Este análisis toma en cuenta el ciclo de vida completo, empezando en la extracción de materia prima y luego el procesamiento, disposición y cualquier posibilidad de uso o reciclaje [99]. Aunque se ha analizado la factibilidad técnica de producir este tipo de materiales, solo hay pocos estudios en donde se reporta un análisis ecológico con datos cuantitativos.

En 2016 se estimó que aproximadamente 19 millones de toneladas de productos elaborados con plástico son desechados anualmente en la Unión Europea y el 60 % finaliza en rellenos sanitarios, por lo que la recuperación de este plástico contribuiría a la economía circular y sustentabilidad [100]. El uso de recursos reciclables es indispensable para la sustentabilidad debido al aumento de basura plástica en las ciudades. En 2016, Sommerhuber [97] resumió algunos estudios previos de análisis de ciclo de vida con diferentes WPC, en el contexto de aplicación de la administración jerárquica de la basura en el posconsumo de los WPC. De esta manera, se analiza el LCA de los productos, comparando el uso de plástico virgen vs. el secundario o bien, desde la perspectiva del sistema de LCA se compara el reciclado vs. la recuperación de energía. Este autor compara la producción de plástico vs. la producción de WPC, siendo de 57 millones de toneladas por año vs. 0.26 millones de toneladas por año de WPC. Por lo tanto, concluye que el impacto potencial de los WPC hechos de plástico virgen disminuye conforme aumenta el porcentaje de madera.

Por otro lado, la madera de reúso está relacionada con los resultados de impacto potencial. No obstante, el reciclado en posconsumo de los WPC es muy sensible a la formulación de estos, por lo que es necesario determinar un protocolo para su disposición final, más relacionado con los plásticos que con la madera. En 2019, Beigbeder [98], al realizar un análisis de ciclo de vida de dos materiales compuestos de madera, uno con ácido poliláctico (PLA) y otro con PP, encontró que sus resultados están en acuerdo con la jerarquía de basura europea y la mayoría de los LCA realizados con plásticos. Los impactos que evaluaron se relacionan con cambio climático, agotamiento de energía fósil, ecotoxicidad de

agua dulce, eutrofización del agua, toxicidad humana, agotamiento de ozono, formación de oxidantes fotoquímicos y acidificación terrestre. De acuerdo con sus resultados, la presencia de fibras naturales de madera no afectó la tendencia reportada en plásticos. En ambos casos, los beneficios de la producción de materiales reciclados o energía compensaron los impactos por el proceso de tratamiento de basura.

Posteriormente, en 2020, una evaluación de diferentes tipos de plástico de desecho en WPC fue hecha por Balsalp *et al.* [100], en función de su desempeño vs. plásticos vírgenes. Todos estos estudios indican lo difícil que resulta realizar una evaluación generalizada del impacto ambiental o el desempeño funcional de los WPC, ya que, como se puede ver, todo dependerá de la composición del mismo e incluso de los tratamientos realizados a la matriz polimérica o a las partículas o fibras de madera, sin considerar que hasta el mayor conocimiento de estos autores, los WPC, con la inclusión de nanopartículas de refuerzo, no han sido evaluados desde el punto de vista de un análisis de ciclo de vida.

Por otro lado, dependiendo de la industria en donde sea utilizado el material compuesto, se pueden generar otro tipo de impactos. Así, un WPC utilizado para el equipamiento de un automóvil implicará un peso menor y, consecuentemente, mejor consumo de combustible. En una evaluación desarrollada en 2020 por Malviya *et al.* [101], este tipo de impactos también se pueden ver en que la eutrofización producida por los WPC es menor que cuando se fabrican plásticos rellenos de polvos de vidrio que son comunes en los paneles de los automóviles.

Es importante mencionar que es difícil comparar las propiedades físicas de los WPC debido a que dependerán del tipo de matriz polimérica utilizada, así como del contenido de madera y aun de la geometría y dimensión de la misma. Por ejemplo, en 2019 Askadski *et al.* [102] identificaron que el módulo de tensión puede variar entre 5-16 MPa para un WPC con una matriz con polietileno, mientras que una con PP podría alcanzar hasta 17-40 MPa. Estas diferencias también se ven influidas por el tipo de interacción química que se genere entre las partículas o fibras y la matriz. Además, la presencia de grupos polares o no polares en la estructura de los agentes compatibilizantes puede proveer el enlace entre el polímero y la madera, lo que enfatiza la compatibilidad y la adhesión interfacial entre ambos y conduce a la mejora de las propiedades mecánicas [100].

Por otro lado, algunos de los WPC son realizados utilizando tanto madera de desecho como matrices poliméricas de material reciclado. Esto afectará, entonces, las propiedades obtenidas, por lo que se pueden generalizar. Por ejemplo, uno de los materiales más utilizados como matriz es el tereftalato de polietileno (PET). Este polímero es muy frágil, pero aun más sus propiedades dependerán del número de procesos previos a los que fue sometido debido a que las cadenas moleculares se rompen, afectando significativamente la viscosidad y las propiedades mecánicas [103]. Es conocido que aunque los termoplásticos son identificados por su capacidad de ser fundidos y solidificados, también es importante el historial térmico en los polímeros que está determinado por el número de ciclos a los que ha sido sometido el material. Esto es importante porque, conforme aumenten los ciclos, el material tenderá a perder sus propiedades debido al rompimiento de sus cadenas y a que perderá peso molecular.

Como ya fue señalado anteriormente, los WPC se utilizan generalmente en aplicaciones para exteriores, tales como terrazas, revestimientos y marcos de ventana. En 2021, Friedrich [104] estimó que en Europa, el 85 % del uso de WPC era en tabloncillos para terrazas. En este tipo de aplicaciones el material es expuesto a humedad y rayos UV, por lo que se comprometen las propiedades mecánicas y la resistencia a la humedad. La absorción de humedad se incrementa con el contenido de madera en el material compuesto debido a los grupos hidroxilos libres de la celulosa. Por este motivo, el WPC presenta amplias ventajas con fibras de madera, ya que tiende a aumentar las propiedades mecánicas, mientras que una adecuada matriz polimérica mejora la resistencia a la humedad [105]. Faure, en 2019, reportó que la absorción de agua en diferentes WPC industriales era entre el 1 % y el 1.5 % a 60 °C por 24 horas [106]. Esto contrasta con la madera, que es un material hidrofílico que se expande a medida que el agua se difunde en ella, hasta el punto de saturación y posteriormente se constriñe cuando se seca [107]. Por eso, para este tipo de aplicaciones se utilizan polímeros de características hidrofóbicas con la finalidad de potenciar las aplicaciones del material compuesto.

Al igual que la madera, los WPC son susceptibles de ser atacados por agentes xilófagos, como las termitas, por lo que su elaboración debe incluir un análisis que permita determinar la resistencia del material compuesto a estos organismos. En 2021, se reportó una

investigación en donde se analiza la resistencia de un WPC producido por compresión a las termitas, encontrando un 88.6 % de mortandad de las mismas [108]. Por su parte, en 2019, Shiny *et al.* [109] habían reportado que nanopartículas de óxido de cobre eran eficientes para disminuir el deterioro por fungi y termitas, lo que abre nuevas posibilidades de investigación combinando el enfoque de nanocompuestos con los WPC. Es decir, en la medida en que la matriz polimérica muestre compatibilidad con microorganismos, los resultados no serán los deseados. Por eso, se busca que el polímero utilizado sea antibacterial o antifúngico, o bien que la matriz recubra perfectamente la harina o fibras de madera.

A pesar de las ventajas ambientales en el uso de WPC, en la manufactura, su uso ha estado limitado a extrusión, compresión y algunas aplicaciones en moldeo por inyección. En cambio, en la impresión 3D generalmente se usa en deposición de filamento fundido y con restricciones de temperatura debido a una posible degradación de la madera. Además, los porcentajes de madera en la composición afectarán la apariencia del producto impreso y su manufacturabilidad [23]. Por estos motivos, para mejorar las propiedades y desempeño de los WPC se ha utilizado modificación química, acrilación, eterificación y modificación del copolímero [110].

Se espera que en la medida que se realicen estudios que permitan que las propiedades reológicas del material compuesto sean útiles para la impresión, el número de matrices poliméricas utilizadas aumente y, por ende, también la impresión 3D sea una alternativa para el reciclaje de plásticos-madera.

Una de las alternativas que se ha presentado para mejorar las debilidades de los WPC es el desarrollo de nanocompuestos con partículas de diferente naturaleza. No obstante, en la búsqueda realizada durante esta investigación se identificó que la mayoría de estos desarrollos todavía no han sido escalados en productos comercializables, lo que genera un abanico de posibilidades tanto en investigación de nuevos materiales más eficientes en sus propiedades, síntesis y procesamiento, como en el diseño de estrategias que permitan que el aprovechamiento industrial de dichos productos contribuya a mejorar la economía circular relacionada con los WPC.

IX. CONCLUSIONES

Se ha demostrado, a través de numerosas investigaciones, que los compuestos de madera y plástico (WPC) son materiales que son considerados revolucionarios por sus propiedades físicas y mecánicas reforzadas y su potencial como material ecológico. No obstante, algunos investigadores no se detuvieron ahí y estudiaron los efectos de nanopartículas sobre las propiedades de estos compuestos con el fin de reforzarlos.

En términos del número de artículos reportados y analizados durante esta revisión, se comprueba que las nanopartículas más utilizadas en los compuestos de madera y plástico virgen son las nanoarcillas, seguido por las partículas de óxidos metálicos, observándose un 43.5 % de fuentes relacionadas con nanoarcillas, 33.3 % de nanopartículas metálicas y óxidos metálicos, y 23.2 % de nanopartículas de carbono. Se observó que, a diferencia de las nanoarcillas, en otras partículas, solo se optó por la utilización de plástico virgen. Además, se mostró que

1. la madera más utilizada es el álamo (*Populus deltoides*) para los compuestos de madera y plástico;
2. el termoplástico comúnmente empleado para los compuestos de madera y plástico es el PP, seguido HDPE; y
3. en la mayor parte de las investigaciones en el artículo presente se utilizó plástico no reciclado para los compuestos de madera y plástico.

En este artículo fueron revisados los distintos estudios con relación a los nanocompuestos de madera y plástico reforzados con nanopartículas de diferentes materiales de esta última década. Por lo tanto, se necesita más investigación sobre los nanocompuestos de madera y plástico a partir de plástico virgen y reciclado.

Por otro lado, dada la complejidad de asignar el impacto ambiental de este tipo de materiales, se sugieren diseñar herramientas o modelos que permitan extrapolar los resultados a los materiales compuestos desarrollados.

De la misma forma, se identificaron productos elaborados a partir de este tipo de compuestos, en los que no se reportan aplicaciones de nanocompuestos. Por lo tanto, se sugiere visualizar las alternativas que existen para el uso de nanocompuestos madera-plástico en el diseño de producto.

REFERENCIAS

- [1] X. Zhou *et al.*, “Efficient flame-retardant hybrid coatings on wood plastic composites by layer-by-layer assembly”, *J. Clean. Prod.*, vol. 321, oct. 2021, doi: [10.1016/J.JCLEPRO.2021.128949](https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.128949).
- [2] S. Yang, J. Jiang, W. Duan, S. Bai y Q. Wang, “Production of sustainable wood-plastic composites from the non-metals in waste printed circuit boards: Excellent physical performance achieved by solid-state shear milling”, *Compos. Sci. Technol.*, vol. 200, nov. 2020, doi: [10.1016/J.COMPSCITECH.2020.108411](https://doi.org/10.1016/J.COMPSCITECH.2020.108411).
- [3] J. Cruz-Salgado, S. A. Romero, E. Ruelas-Santoyo, R. Z. B. López y S. Álvarez-Rodríguez, “Slack-variable model in mixture experimental design applied to wood plastic composite”, *J. King Saud Univ. - Eng. Sci.*, abr. 2021, doi: [10.1016/J.JKSUES.2021.03.017](https://doi.org/10.1016/J.JKSUES.2021.03.017).
- [4] S. Ge *et al.*, “Utilization of decayed wood for polyvinyl chloride/wood flour composites”, *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 12, pp. 862–869, may 2021, doi: [10.1016/J.JMRT.2021.03.026](https://doi.org/10.1016/J.JMRT.2021.03.026).
- [5] S. Zhang, T. Yang, L. Li y M. Wang, “Hierarchical porous 4A zeolites as a smoke suppressant for ammonium polyphosphate-treated wood composites: Role of mesopore diameter”, *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 323, p. 111191, ag. 2021, doi: [10.1016/J.MICROMESO.2021.111191](https://doi.org/10.1016/J.MICROMESO.2021.111191).
- [6] O. Adekomaya, T. Jamiru, R. Sadiku y Z. Huan, “A review on the sustainability of natural fiber in matrix reinforcement - A practical perspective”, *J. Reinfor. Plast. Compos.*, vol. 35, no. 1, pp. 3-7, 2016, doi: [10.1177/0731684415611974](https://doi.org/10.1177/0731684415611974).
- [7] J. F. Hernández Gámez *et al.*, “Mechanical reinforcement of thermoplastic vulcanizates using ground tyre rubber modified with sulfuric acid”, *Polym. Compos.*, vol. 39, no. 1, pp. 229-237, 2018, doi: [10.1002/pc.23922](https://doi.org/10.1002/pc.23922).
- [8] A. Santoni, P. Bonfiglio, F. Mollica, P. Fausti, F. Pompoli y V. Mazzanti, “Vibro-acoustic optimisation of Wood Plastic Composite systems”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 174, pp. 730-740, 2018, doi: [10.1016/j.conbuildmat.2018.04.155](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.155).

- [9] M. Z. R. Khan, S. K. Srivastava y M. K. Gupta, “A state-of-the-art review on particulate wood polymer composites: Processing, properties and applications”, *Polymer Testing*, vol. 89, sept. 1, 2020, doi: [10.1016/j.polymertesting.2020.106721](https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106721).
- [10] Focus Technology Co. “Outdoor Garden Lame Composite Decking Art Board WPC Material Price”. Made-in-China. 2021. <https://tinyurl.com/yra83u85> (accesado: 2021).
- [11] Walmart. “Piso de bambú ilios innova vertical carbonizado 24 piezas cubre 2.2 m2 #Haya”. Walmart.com. <https://tinyurl.com/ys5ymj5c> (accesado: 2021).
- [12] Y. Zhang, F. Wang, Y. Zhang, J. Li y Y. Guo, “Effect of Al powder on mechanical properties and microstructure of wood-plastic composites by selective laser sintering”, *Mater. Today Commun.*, vol. 27, jun. 2021, doi: [10.1016/J.MTCOMM.2021.102235](https://doi.org/10.1016/J.MTCOMM.2021.102235).
- [13] J. Rao, Y. Zhou y M. Fan, “Revealing the Interface Structure and Bonding Mechanism of Coupling Agent Treated WPC”, *Polym.* vol. 10, no. 3, mar. 2018, doi: [10.3390/POLYM10030266](https://doi.org/10.3390/POLYM10030266).
- [14] M. J. Schwarzkopf y M. D. Burnard, “Wood-plastic composites—Performance and environmental impacts”, en *Environmental Impacts of Traditional and Innovative Forest-based Bioproducts. Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes*, Kutnar A., Muthu S., eds. Singapur: Springer, 2016, pp. 19-43.
- [15] M. J. Taufiq, M. R. Mansor y Z. Mustafa, “Characterisation of wood plastic composite manufactured from kenaf fibre reinforced recycled-unused plastic blend”, *Compos. Struct.*, vol. 189, pp. 510-515, abr. 2018, doi: [10.1016/J.COMPSTRUCT.2018.01.090](https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2018.01.090).
- [16] P. F. Sommerhuber, J. L. Wenker, S. Rüter y A. Krause, “Life cycle assessment of wood-plastic composites: Analysing alternative materials and identifying an environmental sound end-of-life option”, *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 117, pp. 235-248, feb. 2017, doi: [10.1016/j.resconrec.2016.10.012](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.012).
- [17] D. B. Rocha y D. dos Santos, “Coupling effect of starch coated fibers for recycled polymer/wood composites”, *Compos. Part B Eng.*, vol. 172, pp. 1-8, sept. 2019, doi: [10.1016/J.COMPOSITESB.2019.05.052](https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2019.05.052).
- [18] Z. Sun, B. Sun, Y. Bai y Z. Gao, “Economical improvement on the performances of a soybean flour-based adhesive for wood composites via montmorillonite hybridization”, *Compos. Part B Eng.*, vol. 217, jul. 2021, doi: [10.1016/J.COMPOSITESB.2021.108920](https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2021.108920).
- [19] J. T. Wu, K. Leung y G. M. Leung, “Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: a modeling study”, *Lancet*, vol. 395, no. 10225, pp. 689-697, 2020.
- [20] N. Doustmohammadi y R. Babazadeh, “Design of Closed Loop Supply Chain of Wood Plastic Composite (WPC) Industry”, *ISEIS J. Environ. Informatics*, vol. 35, no. 2, pp. 94-102, 2020, doi: [10.3808/jei.201900419](https://doi.org/10.3808/jei.201900419).
- [21] G. Barteau *et al.*, “Recycling of wood-reinforced poly-(propylene) composites: A numerical and experimental approach”, *Ind. Crops Prod.*, vol. 167, sept. 2021, doi: [10.1016/J.INDCROP.2021.113518](https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2021.113518).
- [22] Y. Zhou, P. Stanchev, E. Katsou, S. Awad y M. Fan, “A circular economy use of recovered sludge cellulose in wood plastic composite production: Recycling and eco-efficiency assessment”, *Waste Manag.*, vol. 99, pp. 42-48, nov. 2019, doi: [10.1016/J.WASMAN.2019.08.037](https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2019.08.037).
- [23] Y. Huang, S. Lösckhe y G. Proust, “In the mix: The effect of wood composition on the 3D printability and mechanical performance of wood-plastic composites”, *Compos. Part C Open Access*, vol. 5, jul. 2021, doi: [10.1016/j.jcomc.2021.100140](https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2021.100140).
- [24] A. Partanen and M. Carus, “Biocomposites, find the real alternative to plastic—An examination of biocomposites in the market”, *Reinf. Plast.*, vol. 63, no. 6, pp. 317–321, 2019.
- [25] M. Fan y F. Fu, “Introduction: A perspective - natural fibre composites in construction”, en *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction*, M. Fan y F. Fu, eds. Elsevier, 2017, pp. 1-20.
- [26] R. Hossain, M. Tajvidi, D. Bousfield y D. J. Gardner, “Multi-layer oil-resistant food serving containers made using cellulose nanofiber coated wood flour composites”, *Carbohydr. Polym.*, vol. 267, sept. 2021, doi: [10.1016/J.CARBPOL.2021.118221](https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2021.118221).

- [27] H. R. Taghiyari, M. Tajvidi, R. Taghiyari, G. I. Mantanis, A. Esmailpour y R. Hosseinpourpia, "Nanotechnology for wood quality improvement and protection", en *Nanomaterials for Agriculture and Forestry Applications (Micro and Nano Technologies)*, A. Husen, M. Jawaid, eds. Elsevier, en. 2020, cap. 19, pp. 469-489, doi: [10.1016/B978-0-12-817852-2.00019-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817852-2.00019-6).
- [28] M. Gómez-Garzón, "Nanomateriales, Nanopartículas y Síntesis verde", *Rev. Repert. Med. y Cirugía*, vol. 27, no. 2, pp. 75-80, 2018, doi: [10.31260/repertmedcir.v27.n2.2018.191](https://doi.org/10.31260/repertmedcir.v27.n2.2018.191).
- [29] J. Cypriyana *et al.*, "Overview on toxicity of nanoparticles, it's mechanism, models used in toxicity studies and disposal methods – A review", *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, vol. 36, sept. 2021, doi: [10.1016/J.BCAB.2021.102117](https://doi.org/10.1016/J.BCAB.2021.102117).
- [30] S. M. Yadav y K. Bin Yusoh, "Subsurface mechanical properties and subsurface creep behaviour of modified nanoclay-based wood-plastic composites studied by nanoindentation", *Polym. Bull.*, vol. 76, no. 5, pp. 2179-2196, ag. 2018, doi: [10.1007/S00289-018-2497-5](https://doi.org/10.1007/S00289-018-2497-5).
- [31] H. R. Taghiyari, J. Norton y M. Tajvidi, "Effects of Nano-materials on Different Properties of Wood-Composite Materials", en *Bio-based Wood Adhesives*, Z. He y H. Wan, eds. Boca Ratón: CRC Press, jun. 2017, cap. 14, pp. 310-339, doi: [10.1201/9781315369242](https://doi.org/10.1201/9781315369242).
- [32] M. S. Goyat *et al.*, "Role of non-functionalized oxide nanoparticles on mechanical properties and toughening mechanisms of epoxy nanocomposites", *Ceram. Int.*, vol. 47, no. 16, pp. 22316-22344, ag. 2021, doi: [10.1016/J.CERAMINT.2021.05.083](https://doi.org/10.1016/J.CERAMINT.2021.05.083).
- [33] X. Ye, H. Wang, K. Zheng, Z. Wu, H. Zhou y K. Tian, "The interface designing and reinforced features of wood fiber/polypropylene composites: Wood fiber adopting nano-zinc-oxide-coating via ion assembly", *Compos. Sci. Technol.*, vol. 124, pp. 1-9, 2016.
- [34] M. Kiaei, Y. R. Moghdam, B. Kord y A. Samariha, "The effect of Nano-MgO on the mechanical and flammability properties of hybrid nano composites from wood flour-polyethylene", *Maderas. Cienc. y Tecnol.*, vol. 19, no. 4, pp. 471-480, 2017.
- [35] M. R. M. Farahani y F. Banikarim, "Effect of nano-zinc oxide on decay resistance of wood-plastic composites", *BioResources*, vol. 8, no. 4, pp. 5715-5720, 2013, doi: [10.15376/biores.8.4.5715-5720](https://doi.org/10.15376/biores.8.4.5715-5720).
- [36] D. Rasouli, N. T. Dintcheva, M. Faezipour, F. P. La Mantia, M. R. Matri Farahani y M. Tajvidi, "Effect of nano zinc oxide as UV stabilizer on the weathering performance of wood-polyethylene composite", *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 133, pp. 85-91, 2016, doi: [10.1016/j.polyimdegradstab.2016.08.004](https://doi.org/10.1016/j.polyimdegradstab.2016.08.004).
- [37] B. Dang, Y. Chen, X. Shen, B. Chen, Q. Sun y C. Jin, "Fabrication of a Nano-ZnO/Polyethylene/Wood-Fiber Composite with Enhanced Microwave Absorption and Photocatalytic Activity via a Facile Hot-Press Method", *Mater.* 2017, vol. 10, no. 11, p. 1267, nov. 2017, doi: [10.3390/MA10111267](https://doi.org/10.3390/MA10111267).
- [38] P. Bazant *et al.*, "Wood flour modified by hierarchical Ag/ZnO as potential filler for wood-plastic composites with enhanced surface antibacterial performance", *Ind. Crops Prod.*, vol. 62, pp. 179-187, 2014, doi: [10.1016/j.indcrop.2014.08.028](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.028).
- [39] M. Masoudifar, B. Nosrati y R. Mohebbi, "Effect of surface treatment and titanium dioxide nanoparticles on the mechanical and morphological properties of wood flour/polypropylene nanocomposites", *Int. Wood Prod. J.*, vol. 9, no. 4, pp. 176-185, 2018, doi: [10.1080/20426445.2018.1552398](https://doi.org/10.1080/20426445.2018.1552398).
- [40] A. Kaymakci, "Effect of Titanium Dioxide on Some Mechanical, Thermal y Surface Properties of Wood-Plastic Nanocomposites", *BioResources*, vol. 14, no. 1, pp. 1969-1979, 2019, <https://tinyurl.com/pa9s46ce>.
- [41] M. Farsi, "Effect of Nano-SiO₂ and Bark Flour Content on the Physical and Mechanical Properties of Wood-Plastic Composites", *J. Polym. Environ.*, vol. 25, no. 2, pp. 308-314, 2017, doi: [10.1007/s10924-016-0813-4](https://doi.org/10.1007/s10924-016-0813-4).
- [42] S. M. El-Bashir, "Thermal and mechanical properties of plywood sheets based on polystyrene/silica nanocomposites and palm tree fibers", *Polym. Bull.*, vol. 70, pp. 2035-2045, 2013, doi: [10.1007/s00289-013-0962-8](https://doi.org/10.1007/s00289-013-0962-8).
- [43] C. Liu *et al.*, "Light stabilizers added to the shell of co-extruded wood/high-density polyethylene compos-

- ites to improve mechanical and anti-UV ageing properties”, *R. Soc. Open Sci.*, vol. 5, no. 5, may. 2018, doi: 10.1098/RSOS.180074.
- [44] R. R. Devi y T. K. Maji, “Effect of nano-SiO₂ on properties of wood/polymer/clay nanocomposites”, *Wood Sci. Technol.*, vol. 46, no. 6, pp. 1151-1168, 2012, doi: 10.1007/s00226-012-0471-1.
- [45] X. Ye, H. Wang, Z. Wu, H. Zhou y X. Tian, “Synthesis and functional features of wood fiber-polypropylene materials: Based on wood fibers with assembling nano-coating via adopting simple *in situ*-hydrothermal mechanism”, *Polym. Compos.*, vol. 39, no. 1, pp. 5-13, en. 2018, doi: 10.1002/PC.23894.
- [46] H. Zhou *et al.*, “The reinforcement efficacy of nano-and microscale silica for extruded wood flour/HDPE composites: the effects of dispersion patterns and interfacial modification”, *J. Mater. Sci.*, vol. 53, pp. 1899-1910, 2018, doi: 10.1007/s10853-017-1650-0.
- [47] M. Mashkour y Y. Ranjbar, “Superparamagnetic Fe₃O₄@ wood flour/polypropylene nanocomposites: Physical and mechanical properties”, *Ind. Crops Prod.*, vol. 111, pp. 47-54, 2018, doi: 10.1016/j.indcrop.2017.09.068.
- [48] A. Samariha y B. Bazayar, “Effect of nanosilica and aluminum hydroxide on thermal, flammability, and morphology properties of nanocomposite made of recycled high-density polyethylene and OCC flour”, *BioResources*, vol. 15, no. 2, pp. 3382-3393, 2020, doi: 10.15376/biores.15.2.3382-3393.
- [49] H. Reisi Nafchi, M. Abdouss, S. Kazemi Najafi, R. Mohabbi Gargari y M. Mazhar, “Effects of nano-clay particles and oxidized polypropylene polymers on improvement of the practical properties of wood-polypropylene composite”, *Adv. Compos. Mater.*, vol. 24, no. 3, pp. 239-248, 2015, doi: 10.1080/09243046.2014.891341.
- [50] E. Bari, H. R. Taghiyari, O. Schmidt, A. Ghorbani y H. Aghababaei, “Effects of nano-clay on biological resistance of woodplastic composite against five wood-deteriorating fungi”, *Maderas Cienc. y Tecnol.*, vol. 17, no. 1, pp. 205-212, 2015, doi: 10.4067/S0718-221X2015005000020.
- [51] H. R. Nafchi, M. Abdouss, S. K. Najafi, R. M. Gargari y M. Mazhar, “Effects of nano-clay particles and oxidized polypropylene polymers on improvement of the thermal properties of wood plastic composite”, *Maderas Cienc. y Tecnol.*, vol. 17, no. 1, pp. 45-54, 2015, doi: 10.4067/S0718-221X2015005000005.
- [52] A. Eshraghi, H. Khademieslam y I. Ghasemi, “Effect of weathering on physical and mechanical properties of hybrid nanocomposite based on polyethylene, woodflour and nanoclay”, *Maderas. Cienc. y Tecnol.*, vol. 18, no. 4, pp. 617-626, 2016, doi: 10.4067/S0718-221X2016005000054.
- [53] A. Kaymakci, “Effect of sepiolite clay nanofibers on physical, mechanical, and thermal properties of wood-plastic nanocomposites”, *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, 2020, doi: 10.1177/0892705720939171.
- [54] M. E. Golmakani, T. Wiczenbach, M. Malikan, S. M. Mahoori y V. A. Eremeyev, “Experimental and Numerical Investigation of Tensile and Flexural Behavior of Nanoclay Wood-Plastic Composite”, *Mater.*, vol. 14, no. 11, 2021, may. 2021, doi: 10.3390/MA14112773.
- [55] A. M. Alosaimi, M. A. Hussein, M. Y. Abdelaal, T. R. Sobahi y H. D. Rozman, “Polysulfone/wood flour/organoclay hybrid nanocomposites as efficient eco-friendly materials”, *Compos. Interfaces*, vol. 27, no. 8, pp. 717-736, 2020, doi: 10.1080/09276440.2019.1692615.
- [56] Y. R. Seo, B. J. Kim y S. Y. Lee, “Effects of Nanoclay and Glass Fiber on the Microstructural, Mechanical, Thermal, and Water Absorption Properties of Recycled WPCs”, *J. Korean Wood Sci. Technol.*, vol. 47, no. 4, pp. 472-485, 2019, doi: 10.5658/WOOD.2019.47.4.472.
- [57] B. K. Deka, T. K. Maji y M. Mandal, “Study on properties of nanocomposites based on HDPE, LDPE, PP, PVC, wood and clay”, *Polym. Bull.*, vol. 67, no. 9, pp. 1875-1892, 2011, doi: 10.1007/s00289-011-0529-5.
- [58] M. Nemati, H. K. Eslam, M. Talaeipour, B. Bazayar y A. Samariha, “Effect of nanoclay on flammability behavior and morphology of nanocomposites from wood flour and polystyrene materials”, *BioResources*, vol. 11, no. 1, pp. 748-758, 2016, doi: 10.15376/biores.11.1.748-758.
- [59] R. Zhang, X. Jin, X. Wen, Q. Chen y D. Quin, “Alumina nanoparticle modified phenol-formaldehyde resin as a wood adhesive”, *Int. J. Adhes. Adhes.*, vol. 81, pp. 79-82, 2018, doi: 10.1016/j.ijadhadh.2017.11.013.

- [60] H. Alabduljabbar *et al.*, “Effect of Alumina Nano-Particles on Physical and Mechanical Properties of Medium Density Fiberboard”, *Mater.*, vol. 13, no. 18, sept. 2020, doi: 10.3390/MA13184207.
- [61] B. Kord y M. Tajik, “Effect of organomodified montmorillonite on acoustic properties of wood-plastic nanocomposites”, *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, vol. 27, no. 6, pp. 731-740, 2014, doi: 10.1177/0892705712454864.
- [62] Q. K. Meng, M. Hetzer y D. De Kee, “PLA/clay/wood nanocomposites: Nanoclay effects on mechanical and thermal properties”, *J. Compos. Mater.*, vol. 45, no. 10, pp. 1145-1158, 2011, doi: 10.1177/0021998310381541.
- [63] M. Zahedi, H. Khanjanzadeh, H. Pirayesh y M. A. Saadatnia, “Utilization of natural montmorillonite modified with dimethyl, dehydrogenated tallow quaternary ammonium salt as reinforcement in almond shell flour-polypropylene bio-nanocomposites”, *Compos. Part B Eng.*, vol. 71, pp. 143-151, 2015, doi: 10.1016/j.compositesb.2014.11.009.
- [64] B. Kord, A. Varshoei y V. Chamany, “Influence of chemical foaming agent on the physical, mechanical, and morphological properties of HDPE/wood flour/nanoclay composites”, *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 30, no. 13, pp. 1115-1124, 2011, doi: 10.1177/0731684411417200.
- [65] M. A. Danesh, H. ZiaeiTabari, R. Hosseinpourpia, N. Nazarnezhad y M. Shamse, “Investigation of the morphological and thermal properties of waste newsprint/ recycled polypropylene/ nanoclay composite”, *BioResources*, vol. 7, no. 1, pp. 936-945, 2012, <https://tinyurl.com/2p84h3ep>.
- [66] B. Kord, “Effects of compatibilizer and nanolayered silicate on physical and mechanical properties of PP/bagasse composites”, *Turkish J. Agric. For.*, vol. 36, no. 4, pp. 510-517, 2012, doi: 10.3906/tar-1105-4.
- [67] S. V. Pol'shchikov *et al.*, “Composite materials based on graphene nanoplatelets and polypropylene derived via in situ polymerization”, *Nanotechnologies Russ.*, vol. 8, no. 1-2, pp. 69-80, 2013, doi: 10.1134/S1995078013010114.
- [68] S. Ge *et al.*, “Potential use of different kinds of carbon in production of decayed wood plastic composite”, *Arab. J. Chem.*, vol. 11, no. 6, pp. 838-843, sept. 2018, doi: 10.1016/J.ARABJC.2017.12.026.
- [69] S. Sheshmani, A. Ashori y M. Arab, “Wood plastic composite using graphene nanoplatelets”, *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 58, pp. 1-6, 2013, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2013.03.047.
- [70] P. Baishya, T. Maji y T. K. Maji, “Functionalization of MWCNT and their application in properties development of green wood nanocomposite”, *Carbohydr. Polym.*, vol. 149, pp. 332-339, 2016, doi: 10.1016/j.carbpol.2016.04.117.
- [71] B. Kord y M. Roohani, “Water transport kinetics and thickness swelling behavior of natural fiber-reinforced HDPE/CNT nanocomposites”, *Compos. Part B Eng.*, vol. 126, pp. 94-99, oct. 2017, doi: 10.1016/j.compositesb.2017.06.008.
- [72] A. T. Farsheh, M. Talaeipour, A. H. Hemmasi, H. Khademislam y I. Ghasemi, “Investigation on the mechanical and morphological properties of foamed nanocomposites based on wood flour/PVC/multi-walled carbon nanotube”, *BioResources*, vol. 6, no. 1, pp. 841-852, 2011, doi: 10.15376/biores.6.1.841-852.
- [73] A. Ashori, S. Sheshmani y F. Farhani, “Preparation and characterization of bagasse/HDPE composites using multi-walled carbon nanotubes”, *Carbohydr. Polym.*, vol. 92, no. 1, pp. 865-871, 2013, doi: 10.1016/j.carbpol.2012.10.010.
- [74] N. Ayrimis y A. Kaymakci, “Physical, mechanical, and thermal properties of wood plastic nanocomposites reinforced with multi walled carbon nanotubes”, *presentado en InWood2015: Innovations in wood materials and processes*, Brno, República Checa, 2015.
- [75] Y. Zhang, Y. Cui, S. Wang, X. Zhao, F. Wang y G. Wu, “Effect of microwave treatment on bending properties of carbon nanotube/wood plastic composites by selective laser sintering”, *Mater. Lett.*, vol. 267, may. 2020, doi: 10.1016/J.MATLET.2020.127547.
- [76] Y. Liu *et al.*, “Fluorescent thermochromic wood-based composite phase change materials based on aggregation-induced emission carbon dots for visual solar-thermal energy conversion and storage”, *Chem. Eng. J.*, vol. 424, nov. 2021, doi: 10.1016/J.CEJ.2021.130426.
- [77] B. K. Deka, P. Baishya y T. K. Maji, “Synergistic effect of SiO₂, ZnO and nanoclay on mechanical and ther-

- mal properties of wood polymer nanocomposite”, *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, vol. 27, no. 4, 2014, doi: 10.1177/0892705712452739.
- [78] P. Bisht, K. K. Pandey y H. C. Barshilia, “Photostable transparent wood composite functionalized with an UV-absorber”, *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 189, jul. 2021, doi: 10.1016/J.POLYMDEGRADSTAB.2021.109600.
- [79] A. M. Youssef, M. S. Hasanin, M. E. Abd El-Aziz y O. M. Darwesh, “Green, economic, and partially biodegradable wood plastic composites via enzymatic surface modification of lignocellulosic fibers”, *Heliyon*, vol. 5, no. 3, mar. 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01332.
- [80] I. Turku, T. Kärki y A. Puurtinen, “Durability of wood plastic composites manufactured from recycled plastic”, *Heliyon*, vol. 4, no. 3, mar. 2018, doi: 10.1016/j.heliyon.2018.e00559.
- [81] M. A. Binhussain y M. M. El-Tonsy, “Palm leave and plastic waste wood composite for out-door structures”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 47, pp. 1431-1435, oct. 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.06.031.
- [82] L. Zhang, Z. Chen, H. Dong, S. Fu, L. Ma y X. Yang, “Wood plastic composites based wood wall’s structure and thermal insulation performance”, *J. Bioresour. Bio-prod.*, vol. 6, no. 1, pp. 65-74, feb. 2021, doi: 10.1016/j.jobab.2021.01.005.
- [83] N. Dwivedi, A. P. Khare y S. Haq, “Wood Plastic Composite: Emerging Material for an Environmental Safety—A Review”, en *Advances in Clean Energy Technologies*, P. V. Baredar, S. Tangellapalli y C. S. Solanki, eds. Springer, 2021, pp. 85-99, doi: 10.1007/978-981-16-0235-1_7.
- [84] Fortune Business Insights, “Wood plastic Composite Market size, share & Industry Analysis, By Material (Polyethylene, polypropylene, Polyvinyl Chloride and others), By Application (Decking, Automotive, Sliding & fencing, Technical Application, Furniture, Consumer Goods and others)”, reporte FBI102821, 2020. Accesado: 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.fortunebusinessinsights.com/wood-plastic-composite-market-102821>.
- [85] Dow®, “Wood plastic composites materials and additives”, Dow.com, 2021. <https://tinyurl.com/326vucj6> (accesado: 2021).
- [86] Woodplastic, “Woodplasticproducts”, 2021, Woodplastic.com. <https://www.woodplastic.eu/> (accesado: 2021).
- [87] JELU-WERK J. Ehrler GmbH & Co. KG, “Jeluplast Wood Plastic Composites”, [jeluplast.com](https://www.jeluplast.com/en/). <https://www.jeluplast.com/en/> (accesado: 2021).
- [88] Oakio Plastic Wood Building Materials Co., “Oakio products”, [okaio.com](https://tinyurl.com/3yur6pbt). <https://tinyurl.com/3yur6pbt> (accesado: 2021).
- [89] AZO GmbH + Co. KG, “Azo products”, [azo.com](https://www.azo.com/). <https://www.azo.com/> (accesado: 2021).
- [90] Wuhu Haoxuan Wood Plastic Composite Co., “Hosung Products”, [hosungwpc.com](https://www.hosungwpc.com/). <https://www.hosungwpc.com/> (accesado: 2021).
- [91] Wuhu Haoxuan Wood Plastic Composite Co., “Floresta products”, [hosungwpc.com](https://floresta.in/). <https://floresta.in/> (accesado: 2021).
- [92] Seven Trust, “Nano Wood Plastic Composite”, [sp6zwr.com](https://sp6zwr.com.pl/lm2/3928-Nano-Wood-Plastic-Composite.html). <https://sp6zwr.com.pl/lm2/3928-Nano-Wood-Plastic-Composite.html> (accesado: 2021).
- [93] D. Friedrich and A. Luible, “Investigations on ageing of wood-plastic composites for outdoor applications: A meta-analysis using empiric data derived from diverse weathering trials”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 124, pp. 1142-1152, oct. 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.08.123.
- [94] I. Bochkov, M. Varkale, R. M. Meri, J. Zicans, P. Franciszczak y A. K. Bledzki, “Selected aspects of wear and surface properties of polypropylene based wood-polymer composites”, *Green Tribol.*, vol. 1, no. 1, pp. 4-8, mar. 2018, doi: 10.15544/GREENTRIBO.2018.02.
- [95] F. Jamili, M. Mirjalili y H. A. Zamani, “Antibacterial wood-plastic composite produced from treated and natural dyed wood fibers”, *Polym. Polym. Compos.*, vol. 27, no. 6, pp. 347-355, may. 2019, doi: 10.1177/0967391119847537.
- [96] A. KeskiSaari y T. Kärki, “The use of waste materials in wood-plastic composites and their impact on the profitability of the product”, *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 134, pp. 257-261, jul. 2018, doi: 10.1016/J.RESCONREC.2018.03.023.

- [97] P. F. Sommerhuber, T. Wang y A. Krause, “Wood–plastic composites as potential applications of recycled plastics of electronic waste and recycled particleboard”, *J. Clean. Prod.*, vol. 121, pp. 176-185, may. 2016, doi: [10.1016/J.JCLEPRO.2016.02.036](https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.02.036).
- [98] J. Beigbeder, L. Soccalingame, D. Perrin, J. C. Bénézét y A. Bergeret, “How to manage biocomposites wastes end of life? A life cycle assessment approach (LCA) focused on polypropylene (PP)/wood flour and polylactic acid (PLA)/flax fibres biocomposites”, *Waste Manag.*, vol. 83, pp. 184-193, en. 2019, doi: [10.1016/J.WASMAN.2018.11.012](https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2018.11.012).
- [99] V. Kočí, “Comparisons of environmental impacts between wood and plastic transport pallets”, *Sci. Total Environ.*, vol. 686, pp. 514-528, oct. 2019, doi: [10.1016/J.SCITOTENV.2019.05.472](https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.05.472).
- [100] D. Basalp, F. Tihminlioglu, S. C. Sofuoglu, F. Inal y A. Sofuoglu, “Utilization of Municipal Plastic and Wood Waste in Industrial Manufacturing of Wood Plastic Composites”, *Waste Biomass Valorization*, vol. 11, no. 10, pp. 5419-5430, mar. 2020, doi: [10.1007/S12649-020-00986-7](https://doi.org/10.1007/S12649-020-00986-7).
- [101] R. K. Malviya, R. Purohit y R. K. Singh, “Life–Cycle Assessment (LCA) of Plastic–Wood Composites”, en *Wood Polymer Composites*, S. Mavinkere, J. Parameswaranpillai, M. Hemanth y S. Siengchin, eds. Singapur: Springer, 2021, pp. 233-253, doi: [10.1007/978-981-16-1606-8_12](https://doi.org/10.1007/978-981-16-1606-8_12).
- [102] A. Askadskii y T. Matsevich, *Structure and Properties of Wood-Polymer Composites (WPC)*, 1.ª ed. Cambridge Scholars Publishing, 2019.
- [103] Y.-C. Chiou, M.-Y. Shen, C.-L. Chiang, Y.-L. Li y W.-M. Lai, “Effects of Environmental Aging on the Durability of Wood-Flour Filled Recycled PET/PA6 Wood Plastic Composites”, *J. Polym. Environ.* 2021, pp. 1-14, ag. 2021, doi: [10.1007/S10924-021-02268-2](https://doi.org/10.1007/S10924-021-02268-2).
- [104] D. Friedrich, “Thermoplastic moulding of Wood-Polymer Composites (WPC): A review on physical and mechanical behaviour under hot-pressing technique”, *Compos. Struct.*, vol. 262, abr. 2021, doi: [10.1016/J.COMPSTRUCT.2021.113649](https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2021.113649).
- [105] M. Hyvärinen, M. Ronkanen y T. Kärki, “The effect of the use of construction and demolition waste on the mechanical and moisture properties of a wood-plastic composite”, *Compos. Struct.*, vol. 210, pp. 321-326, feb. 2019, doi: [10.1016/J.COMPSTRUCT.2018.11.063](https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2018.11.063).
- [106] F. Faure, A. Perrot, S. Pimbert y T. Lecompte, “Water absorption measurements on WPCs: Assessment of size and direction dependencies in order to design fast and accurate quality control tests”, *Polym. Test.*, vol. 77, ag. 2019, doi: [10.1016/J.POLYMERTESTING.2019.105899](https://doi.org/10.1016/J.POLYMERTESTING.2019.105899).
- [107] H. Mrad, S. Alix, S. Migneault, A. Koubaa y P. Perré, “Numerical and experimental assessment of water absorption of wood-polymer composites”, *Measurement*, vol. 115, pp. 197-203, feb. 2018, doi: [10.1016/J.MEASUREMENT.2017.10.011](https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2017.10.011).
- [108] Y. M. Lopez, F. G. Gonçalves, J. B. Paes, D. Gustave, A. C. Theodoro Nantet y T. J. Sales, “Resistance of wood plastic composite produced by compression to termites *Nasutitermes corniger* (Motsch.) and *Cryptotermes brevis* (Walker)”, *Int. Biodeterior. Biodegradation*, vol. 152, ag. 2020, doi: [10.1016/J.IBIOD.2020.104998](https://doi.org/10.1016/J.IBIOD.2020.104998).
- [109] K. S. Shiny *et al.*, “A new approach to wood protection: Preliminary study of biologically synthesized copper oxide nanoparticle formulation as an environmental friendly wood protectant against decay fungi and termites”, *Maderas. Cienc. y Tecnol.*, vol. 21, no. 3, pp. 347-356, 2019, doi: [10.4067/S0718-221X2019005000307](https://doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000307).
- [110] S. Fan, X. Gao, D. Zhu, S. Guo y Z. li, “Enhancement mechanism of the organic nano-montmorillonite and its effect on the properties of wood fiber/HDPE composite”, *Ind. Crops Prod.*, vol. 169, oct. 2021, doi: [10.1016/J.INDCROP.2021.113634](https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2021.113634).

Evaluación de carga mental en tareas de cálculo mental bajo distintas temperaturas de iluminación

Mental work load assessment in mental calculation tasks under different lighting temperatures

Alejandrina Ortiz-Rodríguez¹✉, Aidé Aracely Maldonado-Macías¹, Carlos Solís-Téllez

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

RESUMEN

La iluminación es un factor para el confort del trabajo. En cuanto a las deficiencias de iluminación en oficinas se tiene que estudios afirman que la iluminación mal empleada incrementa la carga mental ocasionando efectos adversos a trabajadores de oficina como trastornos físicos y emocionales. Los objetivos de esta investigación es recabar información de síntomas reportados por 38 participantes sobre su percepción de los efectos de iluminación en su trabajo y evaluar la carga mental percibida durante la ejecución de dos tareas de cálculo mental bajo tres diferentes temperaturas de iluminación en 3 individuos que trabajan en oficinas por más de 8 horas consecutivas. El estudio se realizó en Ciudad Juárez, Chihuahua, México, en un espacio controlado de iluminación, sonido y ondas electromagnéticas en una cámara anecoica en la cual se simuló una oficina. El estudio consistió en una encuesta aplicada a 38 participantes. Posteriormente, tres voluntarios realizaron dos tareas de cálculo mental en un tiempo de 15 minutos, bajo tres diferentes temperaturas de iluminación. La carga mental percibida se evaluó mediante el método NASA-TXL. Como resultado se obtuvo que no existe diferencia estadística significativa en los tres individuos, sin embargo, con el método NASA las dimensiones con las puntuaciones más altas son exigencia mental, exigencia temporal y nivel de frustración.

PALABRAS CLAVE: carga mental; grados Kelvin; iluminación; NASA-TXL; temperatura.

ABSTRACT

Lighting is one of the most important factors for work comfort. Regarding the deficiencies of lighting in offices, studies have affirmed that improperly used lighting increases the mental workload causing adverse effects to office workers such as physical and emotional disorders. The objectives of this research is to collect information on symptoms reported by 38 participants about their perception of the effects of lighting in their work and to evaluate the perceived mental workload during the execution of two mental calculation tasks under three different lighting temperatures in 3 individuals who work in offices for more than 8 consecutive hours. The study was carried out in Ciudad Juarez, Chihuahua, Mexico, in a controlled space of lighting, sound and electromagnetic waves in an anechoic chamber in which an office was simulated. The study consisted of a survey applied to 38 participants. Subsequently, 3 volunteers carried out two mental calculation tasks in a time of 15 minutes, under three different lighting temperatures. The perceived mental workload was evaluated using the NASA TXL-method. As results, it was obtained that there is no statistically significant difference in the three individuals, however with the NASA method the dimensions with the highest scores are mental demand, time demand and level of frustration.

KEYWORDS: mental workload; Kelvin degrees; illumination; NASA-TXL; temperature.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Alejandrina Ortiz Rodríguez
INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez / Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte (IADA)
DIRECCIÓN: Av. del Charro 450 norte, col. Partido Romero, C. P. 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México
CORREO ELECTRÓNICO: al194522@alumnos.uacj.mx

Fecha de recepción: 28 de abril de 2021. **Fecha de aceptación:** 10 de noviembre de 2021. **Fecha de publicación:** 17 de diciembre de 2021.



I. INTRODUCCIÓN

El creciente uso de la tecnología, procedimientos y tareas complejos demandan a su vez mayores recursos atencionales de los usuarios u operadores humanos. Dichos recursos son limitados y se dedican a la realización de aquellas tareas más relevantes que pueden llegar a ser excesivamente demandantes y generar carga mental [1].

La definición de carga mental es aún objeto de discusión, ya que hasta el momento se carece de un consenso entre autores, sin embargo, la mayoría de ellos concuerda en que representa la proporción de recursos atencionales que demanda una tarea o grupo de tareas, así como aquella función que relaciona los recursos mentales demandados por las tareas y los recursos disponibles del operador humano para su realización. Dichas tareas implican actividades de procesamiento de información a partir de conocimiento previo, así como de razonamiento para la búsqueda de soluciones de problemas, toma de decisiones y memorización, monitoreo, detección y diagnóstico de fallas, entre otras [1], [2]. También existe cierto debate con respecto a la naturaleza de la carga mental. Por ello, en este trabajo se adopta aquella teoría que atribuye su origen a un conjunto de estresores derivados de la tarea, ambiente y organización que interactúan y que tienen un efecto en el individuo y en su desempeño [3].

Una de los estresores relacionados con el ambiente que genera carga mental es la iluminación general dentro de un espacio donde se realizan tareas cognitivas. La iluminación ha sido objeto de estudio por más de 90 años y como resultado existe una creciente comprensión de cómo las condiciones de iluminación y el sistema visual interactúan para facilitar el rendimiento visual y disminuir la fatiga visual que, a su vez, afecta la percepción del usuario. Esto se debe al sistema circadiano: cómo la luz entra por los ojos [4].

Existe una gran variedad de estudios de iluminación y el efecto dominó en el ciclo biológico, entre ellos el que demostró cómo influencia la iluminación en calidad de carga mental, analizando el diámetro de la pupila y exponiendo a los participantes a diferentes niveles de iluminación [5]. Sin embargo, aún no se ha llegado al zenit de la identificación óptima de iluminación para el confort visual y la percepción del espacio [6].

Como antecedente del problema se han presentado evidencias, p. ej., el estudio de la pupila antes mencionado,

donde la iluminación es uno de los factores más importantes para el confort en el trabajo y, otras, como aquella que indica que la temperatura del color de la iluminación puede contribuir a la concentración, salud mental, estado de ánimo positivo, funcionamiento social y pensamiento claro [7].

Antecedentes

Las causas del estrés que afectan el desempeño de actividades pueden tener el origen en trastornos psicofísicos que experimentan los trabajadores desde la llegada al lugar de trabajo, donde se encuentran con situaciones que los ponen en alerta, como áreas de trabajo tumultuosas en las que hay que recorrer grandes distancias con herramientas de trabajo, el tiempo justo, registrar la hora de entrada puntual, retrasos y otros factores, incluidas situaciones no habituales, que pueden llegar a ser estresantes, provocando ansiedad, taquicardia, taquipnea, hipertensión, reducción de la presión parcial de oxígeno, el ruido, la vibración, incluso la temperatura no confortable, la alta humidificación y la inmovilización. Estas circunstancias influyen negativamente en el trabajador, pudiendo llegar a una situación de estrés [8].

La mayoría de los estudios previos han demostrado que el confort en el trabajo es un estado emocional complejo que implica varios factores de carácter personal, tales como factores de diseño. De acuerdo a la psicología ambiental y a empresas constructoras de naves industriales, los factores que influyen la percepción ambiental, causando estrés/fatiga dentro del área de trabajo de operadores, son: falta de espacio, asientos incómodos, pasillos con obstáculos de materia prima, ruido y vibración de las máquinas, pudiendo causar incomodidad la iluminación general; la iluminación individual, que en mucho de los casos no funciona; y la saturación de elementos en el área de trabajo.

La iluminación es un factor importante, ya que los diferentes flujos y colores de iluminación manipulan el estado de ánimo del usuario. La iluminación incorrecta y la temperatura del color mal empleada dentro de la nave industrial generan estrés en el operador. Una iluminación deslumbrante es perturbadora y molesta para la vista debido a que es tan intensa que genera fatiga visual, sobre todo en un espacio donde hay muchos factores que tienen reflejo por el material de la superficie y, por consiguiente, lleva al operador a un estado de crisis mental que genera el estrés. La iluminación de baja in-

tensidad también provoca un ambiente de inseguridad para el operador, ya que su visión es borrosa y lo conduce a sentir angustia. Esta emoción es muy frecuente durante la jornada de trabajo, pero también puede contagiarse a los demás operadores y, por tanto, puede ser perjudicial para el desempeño de actividades.

Síntomas de carga mental en el trabajo

La carga mental en el trabajo es un concepto que se utiliza para referirse a la proporción de recursos mentales demandados por las tareas y los recursos disponibles del operador humano para su realización. Sin embargo, su origen es multidimensional y se relaciona a su vez con conjunto de estresores percibidos por la persona por las exigencias del trabajo mental que realiza. En cualquier empleado, la conexión entre las exigencias de su tarea y los recursos mentales destinados para atender tales exigencias contribuyen a determinar la carga mental de trabajo [9].

La carga mental está relacionada con tareas que implican fundamentalmente procesos cognitivos, procesamiento de información, aspectos afectivos, por ejemplo, las tareas que contienen cierta energía e intervalo de esfuerzo mental de la persona en términos de concentración, atención, memoria, coordinación de ideas, toma de decisiones, autocontrol de emociones necesarios para un desempeño deseable.

El desempeño de la persona con respecto a las facultades cognitivas que hacen factible las actividades mentales, configura sus medios personales para objetar a las peticiones del trabajo mental. Las cualidades de retención, inteligencia, percepción, atención, aprendizaje, etc., son requerimientos que cambian de un trabajador a otro y también pueden ser diferentes dependiendo en los distintos puntos de su vida. Por ejemplo, pueden fortalecerse al adquirir nuevos conocimientos útiles, cuando se conocen tácticas de respuestas más efectivas respecto a trabajo preciso, pero en situaciones físicas o mentales contrarias, pueden estropearse o atenuarse [10].

En general, las condiciones del área de trabajo, en conjunto con la variedad de elementos que generan la carga mental y que aumentan la exigencia la persona que lo experimenta, han referirse para cada lugar o ambiente del lugar de trabajo y pueden converger según de donde provengan:

- sobre los pedidos a la labor a cumplir;

- sobre las condiciones del trabajo y
- externamente del espacio profesional (después del tiempo de trabajo).

Las características individuales influyen en la rigidez que incitan en el individuo las diferentes imposiciones que se derivan de ella. Las características particulares son:

- El grado de anhelo, autoconfianza, estimulación, maneras y obstinación del individuo.
- La cualificación, los conocimientos, la experiencia y las capacidades.
- La edad, nutrición, salud, condición física y estado en general.
- Nivel inicial de activación.

La práctica de tareas o acciones muy largas, similares o monótonas puede originar adormecimiento, reducción de la habilidad de reacción y concluir en una fase de aceleración minúscula de pausado progreso que se convierte en oscilaciones en la productividad, así como una desagradable sensación personal de monotonía. Esta se etiqueta como hipovigilancia, que es un trastorno de la estructura de la conciencia en el que existe una disminución del nivel de la atención y de alerta, junto a un entorpecimiento y letargo de la esfera sensorial, motora, cognitiva y afectiva si las acciones emanan de la ejecución de trabajos de atención, principalmente en diligencias de localización muy poco cambiadas. El estado de congestión mental del individuo se puede mostrar en ocupaciones de escenarios de trabajo continuo, en las que se tiene la impresión de inmovilización, de que no se progresa nada o de que no llevan a nada; se identifica por inseguridad nerviosa, fuerte rechazo emocional de la situación o de la tarea repetitiva y otros síntomas adicionales como cólera, enojo, disminución del rendimiento y sentimientos de fatiga e inclinación a renunciar al trabajo.

Planteamiento del problema

Para plantear el problema se presentan evidencias de que las deficiencias de iluminación, tanto general como enfocada en el lugar de trabajo, produce efectos adversos en salud y seguridad, en el desempeño en un ambiente de oficina. Asimismo, se presentan estudios donde la deficiente iluminación puede contribuir a elevar carga mental de trabajo en oficina.

En cuanto a la escasez de iluminación en oficinas, se tiene que ciertos autores [11] afirman que la iluminación

deficientemente aplicada acrecienta la carga mental, ya que produce efectos desfavorables para los trabajadores de oficina, tales como trastornos oculares, fatiga, efectos anímicos y demás. Cabe mencionar que el ser humano no debe estar expuesto a la misma temperatura de iluminación por más de 24 horas, ya que afecta su ritmo circadiano.

En lo que se refiere a efectos adversos en la salud y seguridad, diversos autores han encontrado que la luz es la principal señal para sincronizar el cuerpo humano con el sistema circadiano [4]. Por lo tanto, uno de los factores que genera la carga mental es la iluminación general dentro de un espacio donde se realizan tareas cognitivas. Se realizó un estudio en el cual se demostró cómo influencia la iluminación como carga mental, analizando el diámetro de la pupila y exponiendo a los participantes a diferentes niveles de iluminación, sin embargo, este estudio tuvo algunas limitantes, por ejemplo, que los participantes fueron expuestos a discretos niveles de iluminación y tareas fáciles de realizar. Como resultado, se obtuvieron solo algunos datos para realizar un modelo preliminar que ayude con investigaciones futuras para determinar la carga mental de trabajo por medio de la pupila [3].

No obstante, la carga mental es un fenómeno complejo para los trabajadores de oficina, si bien se han hecho estudios del comportamiento de la pupila y se ha demostrado que la luz LED puede causar molestias visuales por el deslumbramiento [7]. Sin embargo, otro estudio ha confirmado que los trabajadores de oficina que están expuestos a iluminación general por medio de luz LED, a lo largo de la jornada se iba incrementando la fatiga visual y, por ende, la carga mental. Por consiguiente, según los datos recolectados de una serie de pruebas, la pupila incrementaba su tamaño por mayor fatiga visual, sin embargo, este estudio solo se realizó a 24 personas (19 hombres y 5 mujeres) y sus limitantes fueron que usaron discretos niveles de iluminación en tareas e introduciendo largos momentos de descanso entre un cambio de luz a otro, pero no se tomó en cuenta el modelado real del cambio de tamaño de pupila en tornos realistas [3].

En cuanto a los efectos de iluminación y la temperatura de iluminación, otra evidencia está en un estudio [7] en el cual se analizaron 20 artículos de investigación de 2002 a 2017 respecto a la iluminación de oficina, en que se concluyó que, a grandes rasgos, la temperatura de la iluminación influye en la concentración, la salud mental, el estado de ánimo positivo, el funcionamiento so-

cial y el pensamiento claro. También, en los parámetros de sueño la temperatura de color influye en el estado de alerta, el horario de sueño diario, la disfunción diurna, el rendimiento diurno, la energía, la fatiga nocturna, el letargo, la duración del sueño, la calidad del sueño, la actividad autoinformada, la somnolencia durante el día y el cansancio. Esto se debe al ciclo circadiano, que es un efecto dominó en el ser humano, ya que en la luz natural cambia su temperatura de color durante el día y ayuda al usuario a cumplir con este ciclo. Estos aspectos pueden ser incluidos en los requerimientos de diseño de luminarias para que tenga un efecto en la disminución de la carga mental de trabajo [7].

En cuanto al desempeño de trabajo, adicionalmente se encuentran las evidencias del problema, ya que algunos autores afirman que la iluminación general influencia la carga mental de trabajadores de oficina observando la dilatación de la pupila. Como limitaciones, solo se proporcionaron algunos datos para completar un estudio futuro [3]. Por otro lado, la temperatura de la iluminación influye en la concentración, la salud mental, el estado de ánimo positivo, el funcionamiento social y el pensamiento claro [7]. También influye en el ciclo circadiano que, a su vez, es un factor importante que influye en la carga mental en trabajo de oficina. De acuerdo a lo planteado y las evidencias del problema, se presenta la oportunidad de investigación en cuanto al análisis cognitivo de carga mental bajo un espacio controlado de iluminación, ruido y ondas electromagnéticas.

Objetivos

Los objetivos de esta investigación son recabar información por medio de una encuesta aplicada sobre los síntomas reportados por 38 participantes acerca de su percepción de los posibles efectos de la iluminación en su trabajo y evaluar la carga mental percibida durante la ejecución de dos tareas cálculo mental bajo tres diferentes temperaturas de iluminación en 3 individuos que reportan estar trabajando en oficinas por más de 8 horas consecutivas.

II. METODOLOGÍA

Participantes

Se realizó una encuesta con una muestra de 38 personas que trabajan o estudian en un interior, expuestos a iluminación artificial por más de 8 horas y que al menos

vivieron en Ciudad Juárez, Chihuahua, por 18 meses consecutivos, esto por cuestiones de geografía y factores meteorológicos. Todos los participantes fueron informados acerca de los objetivos y métodos de este estudio y se les pidió su consentimiento por escrito para el uso y publicación de los datos recolectados y se les aplicó una encuesta de sintomatología. Posteriormente, se realizó un estudio experimental a conveniencia (3 participantes) en una cámara anecoica, que es un espacio interior controlado para absorber en su totalidad ondas acústicas y electromagnéticas, situado en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Los 3 participantes realizaron seis tareas por sesión (2 tareas con 3 diferentes temperaturas).

Materiales para el experimento

1. Calculadora Casio fx-115ES PLUS para resolver los problemas de las tareas de cálculo.
2. Cámara de vídeo marca Samsung, modelo A20, para tomar evidencia del experimento.
3. Mesa de trabajo en la cual se realizó el experimento.
4. Computadora *laptop* marca Acer, como apoyo para el experimento.
5. Luminarias de temperaturas de 2700 K, 4000 K y 6500 K, marca Estevez Smart, con las cuales el experimento se llevó a cabo.
6. Software Excel, para obtener la frecuencia de la encuesta de sintomatología.
7. Microsoft Word Pad, para la tarea de redacción, con el propósito de quienes hicieron el experimento no tuvieran la oportunidad de corregir los errores.
8. Microsoft Word, para toda la redacción del documento de investigación.
9. Minitab17, para el análisis de datos estadísticos, se utilizó para el desarrollo de los estadísticos descriptivos.

Método

Se realizó un estudio cuantitativo y cuasi experimental de sintomatología y percepción para evaluar la frecuencia de los síntomas de carga mental. En este estudio, se utilizó Excel para analizar el nivel y frecuencia de la sintomatología adquirida por las respuestas de los individuos encuestados. Para empezar, se aplicó una encuesta a 38 personas para obtener la información necesaria que permita saber el nivel de sintomatología de los encuestados. La investigación de tipo cuasi experimental, con una muestra de 3 individuos, población a conveniencia

por contingencia. Los voluntarios realizaron una serie de tareas en tiempo controlado y dos diferentes temperaturas de iluminación para medir la percepción, mediante el llenado del formato usado por el método NASA-TLX, que es un instrumento de valoración de carga mental basado en una media ponderada de las puntuaciones en seis dimensiones, que son: exigencia mental, exigencia física, exigencia temporal, rendimiento, esfuerzo y nivel de frustración para resultados subjetivos.

Muestra de la encuesta de sintomatología

Para obtener los resultados de sintomatología, se tomó como muestra a 38 individuos con características específicas: los participantes encuestados fueron aquellos que reportaron trabajar en oficina con jornadas laborales completas o más de 8 horas y que hayan residido en Ciudad Juárez, Chihuahua, por lo menos con un tiempo no menor de 18 meses por cuestiones de geografía y climatología y lograr un resultado representativo.

Elaboración de la encuesta de sintomatología

Para elaborar la encuesta se asumieron los conceptos de sintomatología siguientes desarrollados en el libro *Fitting the task to the human* [12]: trastornos emocionales, físicos y perceptivos.

En primera instancia, en la encuesta se explica la temática de la investigación, seguida por el significado de un concepto que es palabra clave para la investigación: *carga mental*. Continúa una breve explicación del objetivo del estudio y se recaba el permiso de los encuestados, mediante la firma de consentimiento, para usar sus datos en un análisis a publicarse posteriormente.

Por otra parte, la sección 2 de sintomatología parte de conceptos fisiológicos como fatiga visual, irritación de los ojos, visión alterada y lagrimeo. En conceptos emocionales, se tomó lo siguiente: crisis, angustia, aislamiento, miedo y falta de ánimo. En los conceptos de percepción se consideró dificultad para concentrarse, disminución de la memoria, inquietud [12].

En esta sección se trata de determinar cuál es el nivel de síntomas que genera el tipo de luz en una oficina, para poder determinar específicamente cuál es el síntoma más recurrente entre las personas que están sometidas a trabajar más de 8 horas en un espacio interior.

La sección 2 constó de 26 preguntas en las que los encuestados evaluaron de menor a mayor, en una escala del 1 al 5, el grado de síntoma físico, emocional y de percepción, según su experiencia. Otro apartado, con una sección de 4 preguntas, las primeras 3 de opción múltiple, fue para saber bajo qué condiciones trabajaban los encuestados en cuanto a tipo de iluminación, localización de la instalación y temperatura de iluminación de su área de trabajo. La última pregunta fue evaluada mediante la escala Likert, para saber qué tan satisfactorio era trabajar bajo las condiciones en las que laboraban.

El cuestionario se basa en la encuesta desarrollada en la materia Seminario de Administración Estratégica y Desarrollo de Empresas 2 de la UACJ, orientada a determinar la sintomatología de estrés/fatiga y carga mental.

Aplicación de la encuesta de sintomatología

La encuesta se aplicó personalmente, en su mayoría en el edificio de la rectoría y, posteriormente, en otras instalaciones de la UACJ por investigadores y estudiantes de posgrado de esta universidad y a personas que están trabajando en oficinas por más de 8 horas consecutivas y expuestas a iluminación artificial.

Diseño cuasi experimental

Para evaluar la carga mental de dos diferentes temperaturas de iluminación, se diseñó el siguiente experimento para poder recabar los datos de los participantes por medio del método NASA-TLX, que se desarrolló en una sesión para cada uno y cuyas actividades consistieron en hacer tareas de cálculo mental y redacción en un ambiente controlado (cámara anecoica) de iluminación, ruido y ondas electromagnéticas. Todos emitieron sus respuestas en el formato NASA-TLX. Las tareas fueron diseñadas de la siguiente manera: la tarea de cálculo consta de 12 operaciones de multiplicación, el cual se les dio un tiempo de 15 minutos expuestos a una temperatura de iluminación escogida aleatoriamente. Posteriormente, hicieron una prueba de redacción con la misma temperatura de iluminación, en la cual consistió en copiar un fragmento de un artículo científico y transcribirlo en una *laptop* marca Acer, con un tiempo de 10 minutos.

Muestra del experimento

Se realizó un muestreo a conveniencia con 3 personas que trabajaron o estudiaron en un interior expuestos a

iluminación artificial por más de 8 horas y que al menos hayan vivido en de Ciudad Juárez, Chihuahua, durante 18 meses consecutivos por cuestiones de geografía y factores meteorológicos. Todos los participantes fueron informados acerca de los objetivos y métodos de este estudio y se le pidió su consentimiento por escrito para el uso y publicación de los datos recolectados.

Tareas

Se evaluaron las dos tareas siguientes:

- **Prueba de matemáticas:** Consistió en realizar 9 multiplicaciones de diferente complejidad con una temperatura de 2700 K en un tiempo estimado de 15 minutos medidos con un cronómetro de celular Samsung A20, luego tomaron un intervalo de descanso de algunos minutos con los ojos cerrados e iniciaron la siguiente tarea con 9 multiplicaciones con diferentes cifras, pero misma complejidad para las siguientes dos temperaturas: 4000 K y 6500 K.
- **Redacción:** En esta tarea, se solicitó a los participantes que realizaran una tarea de oficina, que consistió en copiar un fragmento de un artículo científico a un documento Microsoft Word con una iluminación de 3 diferentes tipos de temperatura (2700 K, 4000 K y 6500 K), así como también 3 diferentes fragmentos de artículos. A los participantes se les dio un tiempo de 8 minutos para concluir la tarea y se les tomó el tiempo con un cronómetro de un teléfono móvil marca Samsung modelo A20.

Análisis de la carga mental con NASA-TLX

El método NASA-TLX es un procedimiento multidimensional que sirve para medir subjetivamente la carga mental de las personas. Esta herramienta ayuda a interpretar los resultados según las escalas que los participantes contestan en la escala de valoración antes de realizar la tarea y otro formato de escalas al terminar la tarea, de manera tal que se puede analizar las respuestas y darles una interpretación.

Fase 1. Ponderación de NASA-TLX: Los voluntarios en el experimento iniciaron respondiendo qué dimensiones en par tenían más peso para ellos y luego se sumaron las dimensiones y después se colocaron en una tabla para su valoración.

Fase 2. Valoración de escalas NASA-TLX: Los participantes realizaron una tarea y después contestaron el formato de evaluación de carga mental de trabajo. Con base en estas respuestas se realizaron cálculos matemáticos para sacar la suma total de los datos recabados y el promedio final.

Análisis de datos

Con los datos obtenidos a partir del cuasi experimento, se utilizó el software Minitab con la finalidad de realizar un análisis a estos mismos por medio de una prueba T de dos muestras y así tener una percepción clara sobre el impacto de la temperatura en la carga mental.

Procedimiento

Se programó una sesión individual en la que a los participantes se les dijo el propósito de la prueba. La tarea a ejecutar por el participante se asignó de forma aleatoria.

El programa de cada sesión fue el siguiente:

- Se les informó a los participantes el propósito del estudio y se les pidió que llenen el formato de consentimiento.
- Se les explicó a los participantes la tarea que deberán de realizar y se les explicó las dimensiones de NASA-TLX.
- Una vez instruidos y equipados, los participantes realizaron la tarea en forma continua, en un lapso de 15 para matemáticas y 8 minutos para redacción y memoria.
- Al final de cada tarea, los participantes se les pidió que evaluaran la carga mental de trabajo por medio de NASA-TLX.
- Los participantes fueron videograbados durante la sesión.

Instalaciones

Este trabajo se realizó con condiciones de iluminación y ruido controlado dentro de una cabina anecoica situada en las instalaciones de la UACJ. No se permitió que los participantes vieran las tareas antes de su turno ni se les notificó el cambio de temperatura para no predisponer los efectos que puedan surgir, por lo que la presencia se restringió a uno por cada cambio de temperatura de iluminación.



Figura 1. Jerarquización metodológica.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de sintomatología

En este apartado se presentan los resultados de la encuesta de sintomatología. En primer lugar, se analizaron las respuestas de las 38 personas que trabajaron en oficina por más de 8 horas consecutivas.

La **Figura 2** indica los síntomas en porcentajes que los encuestados percibieron acerca de la iluminación en su área laboral. Ahí se muestran los diferentes ítems con mayor importancia, siendo estos fatiga visual, seguido por la irritación de ojos, fatiga, disminución de la memoria, dificultad para concentrarse, falta de productividad, falta de ánimo, problemas para dormir, cambios de humor e inquietudes y nerviosismo. Efectivamente, los encuestados presentaron síntomas que afectan el desempeño a la hora de efectuar sus actividades en el trabajo.

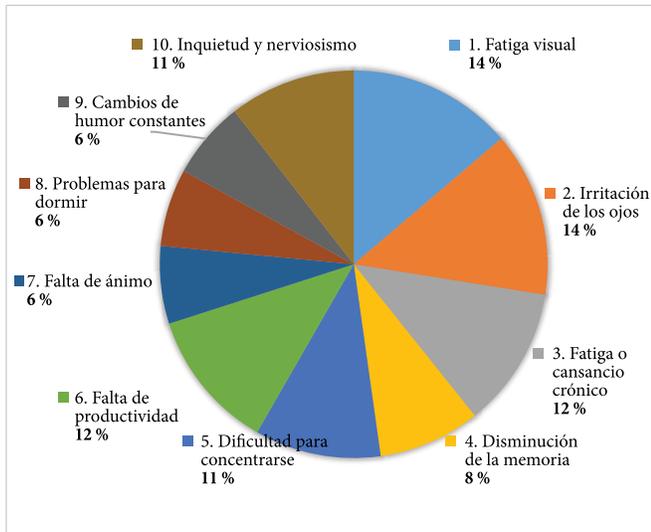


Figura 2. Resultado de frecuencia de síntomas en porcentaje.

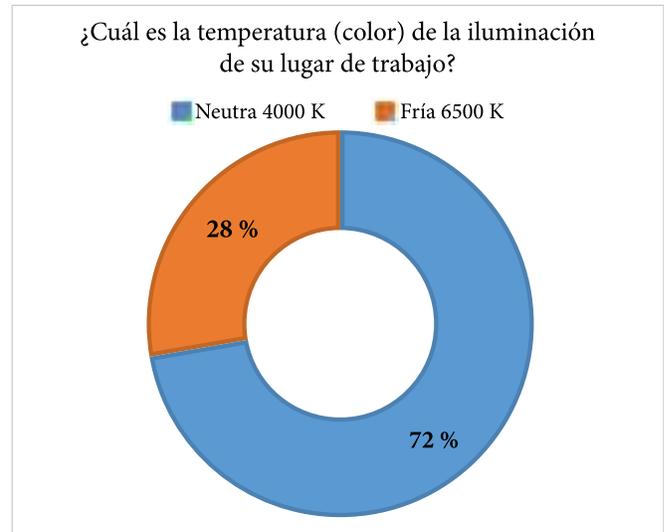


Figura 4. Resultado de frecuencia de síntomas en porcentaje.

Resultados sobre condiciones de trabajo de iluminación en porcentaje

En el siguiente apartado se presentan los resultados de las preguntas de condiciones de trabajo de iluminación sobre el tipo de lámpara del área de trabajo, el tipo de temperatura de iluminación y la satisfacción de trabajar bajo estas condiciones. La Figura 3 indica que el mayor porcentaje de encuestados realizan labores bajo lámparas fluorescentes.

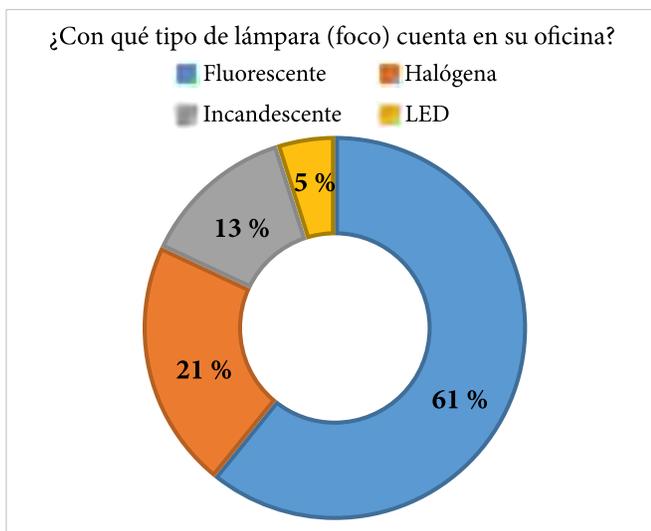


Figura 3. Resultado de frecuencia de síntomas en porcentaje.

La Figura 4 presenta los resultados obtenidos según el tipo de temperatura de iluminación. Se observa que el mayor porcentaje de los encuestados cuentan con una temperatura neutra en su ambiente laboral.

Por último, la Figura 5 permite visualizar el nivel de satisfacción con el que cuentan los encuestados al realizar sus actividades laborales con su iluminación actual. La mayoría de ellos manifestaron tener un nivel de satisfacción regular.

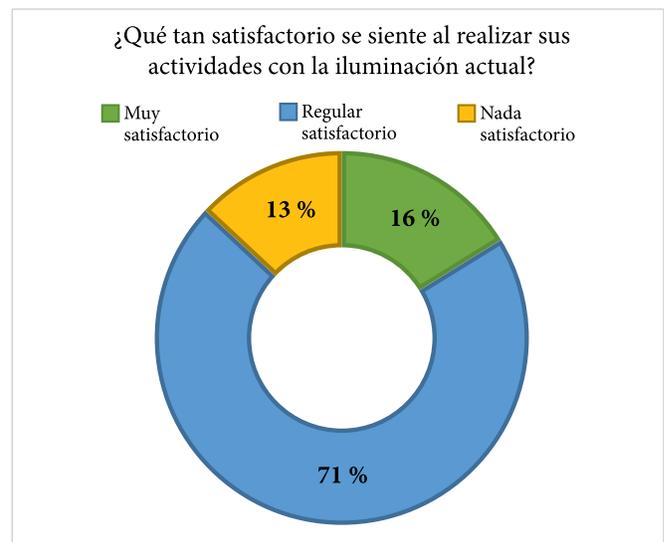


Figura 5. Resultado de frecuencia de síntomas en porcentaje.

Resultado del cuasi experimento

En la evaluación con NASA-TLX, las temperaturas en el cuasi experimento fueron 4000 K luz neutra y 6500 K luz fría. En las figuras siguientes se muestra el comportamiento de la percepción en promedios ponderados por temperatura y dimensiones.

La Figura 6 muestra que las dimensiones que generan más carga mental en el experimento es la exigencia mental, con un valor de 261 puntos; exigencia temporal, con 199 puntos; y nivel de frustración, con 259 puntos. A simple vista no se puede observar mucha diferencia entre las dimensiones con respecto a las temperaturas, sin embargo, la temperatura 3 de 6500 K luz fría indica que se redujo el esfuerzo más de 50 puntos en comparación con la temperatura de 4000 K.

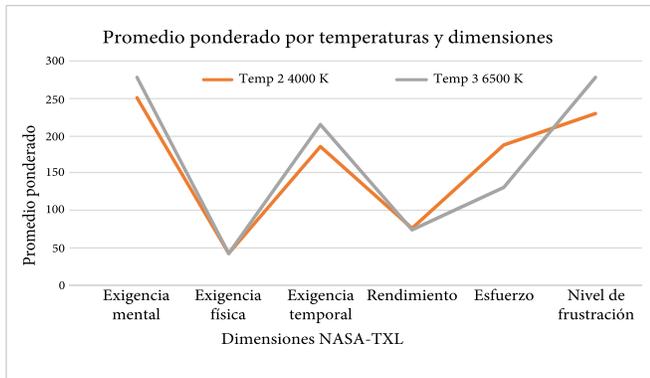


Figura 6. Promedio ponderado por temperaturas y dimensiones.

La Figura 7 muestra que en la percepción de los voluntarios, a simple vista las dos temperaturas se comportan de una manera similar, sin embargo, las medias ponderadas indican que la temperatura 2 de 4000 K tiene una valoración de 65 puntos y la temperatura 3 de 6500 K es de 68 puntos. Como se puede observar, en los resultados de las medias ponderadas existe una mayor diferencia entre la temperatura 2 y 3. Esto quiere decir que la temperatura 3 de 6500 K, que es luz fría, provocó más carga mental en los voluntarios a la hora de realizar las tareas de cálculo mental. La temperatura 2 de 4000 K fue la que menor carga mental causó durante el experimento. Para saber si son significativas estas diferencias, se hizo una prueba T de dos muestras a través de Minitab 17.

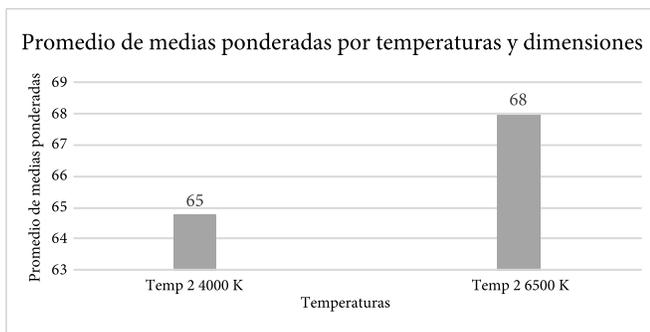


Figura 7. Dimensiones y temperaturas en conjunto de promedio ponderado.

Como resultado de la prueba T, se obtuvo un valor de P de 0.884 mayor al error permitido de la prueba $\alpha = 0.05$, lo que indica que estadísticamente no existe una diferencia significativa entre temperaturas con relación a la carga mental. En la Figura 8 también se puede observar en la gráfica de caja la igualdad de promedio entre las temperaturas.

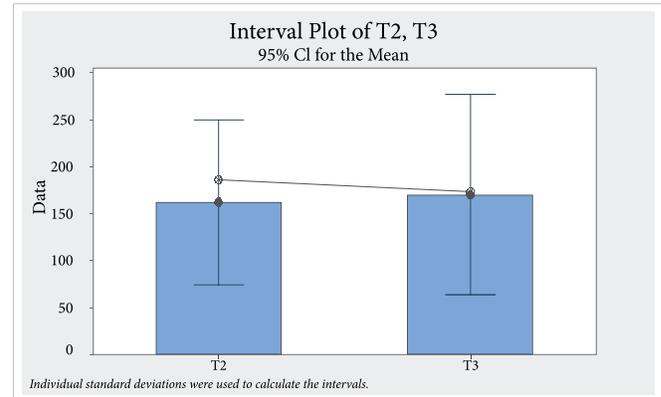


Figura 8. Gráfica de caja entre las temperaturas.

IV. CONCLUSIONES

Durante el experimento, que tuvo duración de aproximadamente más de dos horas por participante, se pudo observar que, al mencionar las instrucciones de cada tarea, los participantes reaccionaron de diferente manera en cada tipo de iluminación, expresándolo verbalmente. Se tomó nota y vídeo del experimento en cada temperatura.

Respecto a los resultados obtenidos en los aspectos de sintomatología, se pudo observar que, de los síntomas fisiológicos planteados durante la encuesta, son 10 de estos los que representan un mayor impacto de malestar. Este hecho representa una oportunidad para hacer un estudio a futuro con mayor profundidad.

A partir de estos mismos resultados, es patente que la mayoría de encuestados laboran bajo lámparas fluorescentes, lo que puede ser un factor determinante al momento de establecer relaciones referentes a síntomas de malestar. Es el mismo caso respecto a las temperaturas de iluminación usadas, pues la mayoría de los encuestados concuerdan en presentar grados de satisfacción regular referentes a la iluminación con la cual realizan sus actividades laborales.

Según lo obtenido en los resultados experimentales, la dimensión con mayor carga debido a la temperatura de iluminación recae en la exigencia mental, seguido de nivel de frustración y exigencia temporal, indicando que existe un mayor impacto al momento de realizar tareas que demanden actividad mental.

Estadísticamente se pudo corroborar que no existe diferencia significativa en los resultados de carga mental al realizar actividades bajo las dos temperaturas usadas (4000 K y 6500 K).

Posibles estudios interesantes a futuro podrían considerar un rango de temperaturas de iluminación más amplio, lo que puede brindar la posibilidad de encontrar variaciones.

Un factor interesante a considerar para futuros estudios sería contemplar una muestra mayor a la usada en este trabajo y observar las posibles variaciones que puedan surgir referentes a este factor.

REFERENCIAS

- [1] N. A. Stanton, P. M. Salmon, G. H. Walker, C. Baber y D. P. Jenkins, *Human Factors Methods: A Practical Guide for Engineering and Design*. Ashgate, 2005.
- [2] R. Parasuraman, T. B. Sheridan y C. D. Wickens, "Situation Awareness, Mental Workload, and Trust in Automation: Viable, Empirically Supported Cognitive Engineering Constructs", *J. Cogn. Eng. Decis. Mak.*, vol. 2, no. 2, pp. 140-160, 2008, doi: [10.1518/155534308X284417](https://doi.org/10.1518/155534308X284417).
- [3] E. D. Megaw, "The definition and measurement of mental Workload", en *Evaluation of Human Work*, J. R. Wilson y E. N. Corlett, Eds., Boca Ratón, Florida: CRC Press, 2005.
- [4] C. Jarboe, J. Snyder y M. G. Figueiro, "The effectiveness of light-emitting diode lighting for providing circadian stimulus in office spaces while minimizing energy use", *Light. Res. Technol.*, vol. 52, no. 2, pp. 167-188, 2020, doi: [10.1177/1477153519834604](https://doi.org/10.1177/1477153519834604).
- [5] B. Pflieger, D. K. Fekety, A. Schmidt y A. L. Kun, "A Model Relating Pupil Diameter to Mental Workload and Lighting Conditions", en *CHI '16: Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2016, pp. 5776-5788, doi: [10.1145/2858036.2858117](https://doi.org/10.1145/2858036.2858117).
- [6] G. Tonello, N. Hernández de Borsetti, H. Borsetti, L. Tereschuk y S. López Zigarán, "Perceived well-being and light-reactive hormones: An exploratory study", *Light. Res. Technol.*, vol. 51, no. 2, pp. 184-205, 2019, doi: [10.1177/1477153517750714](https://doi.org/10.1177/1477153517750714).
- [7] J. van Duijnhoven, M. P. J. Aarts, M. B. C. Aries, A. L. P. Rosemann y H. S. M. Kort, "Systematic review on the interaction between office light conditions and occupational health: Elucidating gaps and methodological issues", *Indoor Built Environ.*, vol. 28, no. 2, pp. 152-174, 2019, doi: [10.1177/1420326X17735162](https://doi.org/10.1177/1420326X17735162).
- [8] M. Lu, S. Hu, Z. Mao, P. Liang, S. Xin y H. Guan, "Research on work efficiency and light comfort based on EEG evaluation method", *Build. Environ.*, vol. 183, oct. 2020, doi: [10.1016/j.buildenv.2020.107122](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107122).
- [9] J. Wang, R. Ohtsuka, K. Yamanaka, K. Shioda y M. Kawakami, "Relation between Mental Workload and Visual Information Processing", *Procedia Manuf.*, vol. 3, pp. 5308-5312, 2015, doi: [10.1016/j.promfg.2015.07.625](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.625).
- [10] I. Käthner, S. C. Wriessnegger, G. R. Müller-Putz, A. Kübler y S. Halder, "Effects of mental workload and fatigue on the P300, alpha and theta band power during operation of an ERP (P300) brain-computer interface", *Biol. Psychol.*, vol. 102, no. 1, pp. 118-129, 2014, doi: [10.1016/j.biopsycho.2014.07.014](https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.07.014).
- [11] T. Lashina, S. Chraïbi, M. Despenic, P. Shrubsole, A. Rosemann y E. van Loenen, "Sharing lighting control in an open office: Doing one's best to avoid conflict", *Build Environ.*, vol. 148, pp. 1-10, en. 2019.
- [12] S. Gattward, "Fitting the Task to the Human", *Physiotherapy*, vol. 84, no. 5, p. 242, may. 1998, doi: [10.1016/S0031-9406\(05\)65562-9](https://doi.org/10.1016/S0031-9406(05)65562-9).

Diseño y Optimización del Timón de un Surcador Aplicando Elemento Finito y Templado Simulado

Design and Optimization of a Furrower Shank Using Finite Element and Simulated Annealing

Mariana Concepción Flores-Torres¹, Cynthia Patricia Guerrero-Méndez¹, Alberto Saldaña-Robles², Donato Reyes-Ramírez³, Víctor Alfonso Alcántar-Camarena¹✉

¹Universidad Politécnica Bicentenario, ²Universidad de Guanajuato, ³Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus León

RESUMEN

En este trabajo se propone el diseño y la optimización del timón de un surcador. El objetivo principal es diseñar el elemento con una adecuada resistencia estructural y características geométricas que permitan la reducción de su masa sin comprometer su resistencia. El diseño del surcador se realizó en un paquete de CAD tomando como referencia dimensiones de implementos similares. En primera instancia, un estudio teórico-numérico del estado de esfuerzo normal del diseño inicial del surcador sometido a carga se llevó a cabo. El análisis de resultados mostró una alta correlación (R^2) entre los obtenidos numéricamente en comparación con los teóricos. Posteriormente, el proceso de optimización del timón se realizó empleando dos metodologías distintas: 1) un Diseño Central Compuesto (DCC) en combinación con Metodología de Superficie de Respuesta (MSR), métodos de exploración integrados en el software de elemento finito; y 2) el método de optimización de Templado Simulado (TS). Ambas metodologías ofrecen resultados similares logrando una reducción de masa de hasta 25 % respecto al diseño inicial.

PALABRAS CLAVE: simulación; diseño estructural; elemento finito; optimización.

ABSTRACT

In this work, the design and optimization of the shank of a furrower are proposed. The main objective is to design the element with adequate structural resistance and geometric characteristics that allow it to reduce its mass without compromising its resistance. The furrower design was made in a CAD package taking as reference dimensions of similar implements. In the first instance, a theoretical-numerical study of the state of normal stress of the initial design of the furrower under load was carried out. The analysis of results showed a high correlation (R^2) between those obtained numerically compared to the theoretical ones. Subsequently, the rudder optimization process was carried out using two different methodologies: 1) a Central Composite Design (CCD) in combination with Response Surface Methodology (RSM), exploration methods integrated in the finite element software; and 2) the Simulated Annealing optimization method (SA). Both methodologies offer similar results achieving a mass reduction of up to 25% compared to the initial design.

KEYWORDS: simulation; structural design; finite element; optimization.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Víctor Alfonso Alcántar-Camarena
INSTITUCIÓN: Universidad Politécnica Bicentenario
DIRECCIÓN: Silao-Romita km 2, C. P. 36283, colonia San Juan de los Durán, Silao, Guanajuato, México
CORREO ELECTRÓNICO: valcantarc@upbicentenario.edu.mx

Fecha de recepción: 30 de abril de 2021. **Fecha de aceptación:** 8 de diciembre de 2021. **Fecha de publicación:** 13 de diciembre de 2021.



I. INTRODUCCIÓN

El surcador es un implemento agrícola empleado para la elaboración de surcos utilizados en la siembra o para el drenaje. La profundidad del surco depende del cultivo a sembrar y la distancia entre surcos está en función del marco de siembra utilizado [1]. El surcador se puede ajustar para obtener la altura y ancho requeridos con un adecuado perfil simétrico respecto a su eje. Este implemento agrícola se acopla a tractores de diferentes potencias y puede romper, pulverizar y surcar en un solo paso. Su diseño se caracteriza por una estructura rígida, sencilla y resistente.

En la literatura se encuentran diferentes estudios en los cuales se presenta la influencia que tiene el diseño del surcador en los parámetros de operación. Mamman y Oni [2] investigaron de forma experimental el desempeño de la fuerza de tiro en surcadores de cincel geoméricamente similares. Los parámetros de diseño de la herramienta considerados son el ángulo de la punta, el ángulo de deslizamiento y la altura del filo de corte. Por otro lado, los parámetros de operación fueron la velocidad de desplazamiento de la herramienta y la profundidad de labranza. A partir de los resultados obtenidos, los autores desarrollaron una ecuación general con la cual es posible predecir la fuerza de tiro en función de los parámetros de operación y la geometría del surcador.

Medeiros *et al.* [3] evaluaron la viabilidad técnica y el rendimiento de surcadores rotativos en trabajo de siembra directa y se compararon con surcadores de mango. Se implementó un diseño factorial con tres modelos de surcadores rotativos, dos valores de revoluciones por unidad de desplazamiento lineal y dos velocidades de avance. La principal ventaja de un surcador rotativo es que requiere menor fuerza vertical para realizar la misma operación que un surcador de mango. Barzegar *et al.* [4] propusieron disminuir la fuerza de tiro de los surcadores utilizando revestimientos superficiales de polímero UHMWPE. A modo de comparación, fabricaron un surcador de acero con la misma forma y dimensión que el surcador recubierto de plástico. Las pruebas experimentales se desarrollaron en un contenedor de arcilla pesada. Los autores determinaron que el revestimiento, un polímero de baja adherencia y fricción superficial, puede reducir la fuerza de tiro requerida.

Singh *et al.* [5] investigaron la relación entre diferentes tipos de surcadores y parámetros, como el tipo de suelo, la

fuerza de tiro, el porcentaje de germinación respecto a la velocidad operativa y la profundidad de las operaciones. Como resultado, fue posible determinar la combinación de parámetros más adecuada en el proceso de surcado para realizar recomendaciones a los fabricantes y productores.

También existen estudios en los cuales se hace uso de herramientas computacionales CAD y CAE para mejorar el diseño en las máquinas agrícolas. Jakasania *et al.* [6] han propuesto el diseño de un subsolador parabólico empleando una herramienta CAD. Posteriormente, desarrollaron un análisis estático estructural aplicando el método de elemento finito. Las condiciones de carga y restricciones se establecen a partir de los datos reportados en campo.

Los resultados del análisis revelan que los esfuerzos de tensión que se ejercen en el subsolador están por debajo del límite elástico del material y se determinó un factor de seguridad de 1.59. Por lo tanto, el diseño propuesto podría emplearse para el desarrollo de un subsolador. Kadam y Chhaphkane [7] emplearon una herramienta CAD para modificar el diseño de un subsolador. Posteriormente, emplearon el paquete de elemento finito ANSYS para realizar un análisis estructural del diseño propuesto. Los autores resaltan que el nuevo diseño reduce el esfuerzo del tractor y es de fácil mantenimiento, entre otras ventajas. Jahanbakhshi y Heidarbeigi [8] hicieron una simulación por elemento finito de un brazo de eslabón inferior de tractores MF399 y MF285. Estos elementos se utilizan para sujetar herramientas a los tractores agrícolas. Durante las operaciones de trabajo, los eslabones se encuentran sujetos a diferentes fuerzas. Por lo anterior, se utilizó el programa ANSYS para realizar análisis estáticos, modales y de fatiga. Los resultados obtenidos pueden ser empleados para optimizar el proceso de diseño.

El objetivo de un sistema agrícola moderno es economizar el consumo de energía y reducir los costos. Una forma de contribuir con esta meta es disminuir la masa de ciertos elementos estructurales de la maquinaria agrícola. Saldaña *et al.* [9] propusieron un modelo 3D de una retroexcavadora agrícola, analizaron su resistencia empleando un software de elemento finito y compararon las respuestas con análisis teóricos. Los autores demostraron que empleando el método de superficie de respuesta en conjunto con redes neuronales artificiales es posible reducir la masa (de 446.3 kg a 335.4 kg) de los principales

componentes de la retroexcavadora agrícola, como son cucharón, brazo, pluma y eslabones. Por lo anterior, en el presente artículo se desarrolla el análisis numérico de la estructura principal de un surcador, a la cual se le conoce como timón. El modelo numérico es comparado con soluciones teóricas para su validación. Posteriormente, se busca generar un diseño geométrico óptimo. El proceso de optimización se realiza de dos formas distintas. En primer lugar, con un diseño central compuesto en conjunto con el método de superficie de respuesta integrados como elementos de exploración auxiliares al paquete de elemento finito. Como proceso alterno se implementa el método de templado simulado, con el objetivo de comparar ambas soluciones. Los resultados de la optimización con MSR y templado simulado mostraron una reducción de masa de 25 % y 31 %, respectivamente, en comparación con el diseño inicial.

II. METODOLOGÍA

El diseño estructural del timón se realizó en seis etapas. En la primera se analizaron los diferentes elementos que componen un timón surcador de profundidad, así como las geometrías y dimensiones comerciales; en la segunda se desarrolló un modelo 3D del timón con ayuda de un paquete CAD; en la tercera se llevó a cabo un análisis teórico del timón; en la cuarta se realizó un análisis numérico del elemento sometido a carga y se comparó el estado de esfuerzo normal de los resultados numéricos y teóricos; en la quinta se llevó a cabo la reducción de masa del timón a partir de un diseño central compuesto (DCC) en combinación con superficie de respuesta (MSR) y, finalmente, en la sexta etapa se aplicó el método de optimización de templado simulado y se comparó con los resultados obtenidos por DCC. Estos pasos son detallados en las siguientes secciones.

Análisis de los componentes

En el mercado se encuentran diversos modelos y geometrías de surcadores, cuyos principales componentes son las placas porta barra, el timón o brazo, la reja y vertedera. En el presente estudio se toma como referencia el timón surcador de profundidad (Figura 1). El diseño del timón propuesto para el surcador tiene las siguientes dimensiones: una altura de 609.6 mm (24 pulgadas), ancho de 76.2 mm (3 pulgadas) y espesor de 25.4 mm (1 pulgada), valores típicos de implementos agrícolas similares.

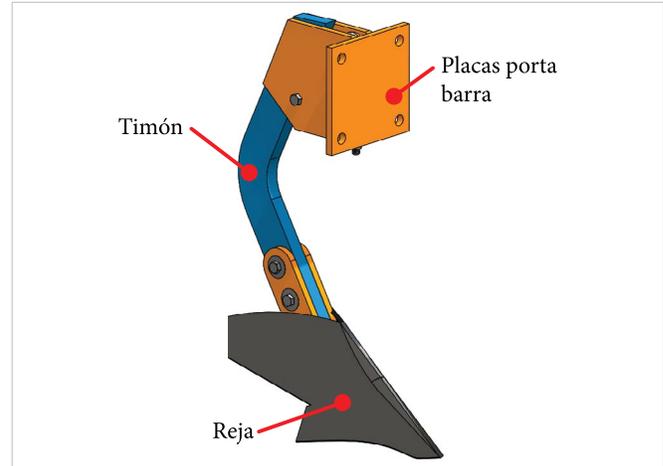


Figura 1. Componentes principales de un surcador.

Modelado geométrico

Una vez que se revisaron los principales componentes de un surcador, se observó que el timón es el elemento de mayor longitud. Este elemento debe ser diseñado con un mínimo y asegurar su resistencia bajo condiciones. La geometría propuesta se muestra en la Figura 2. Los principales parámetros dimensionales de este modelo son la altura (h), ancho (a), espesor (t), radio interior (r_i) y radio exterior (r_o).

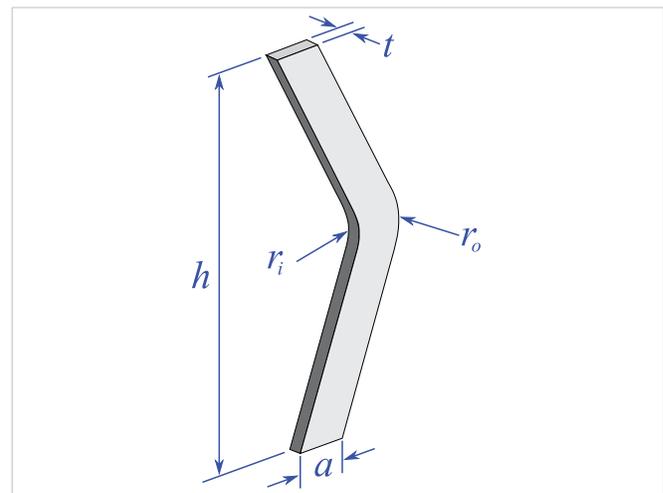


Figura 2. Modelado CAD del timón.

Análisis teórico

Al analizar las condiciones de operación se observa que la parte superior del timón está completamente restringida por el bastidor del implemento. Por otro lado, la parte inferior es sometida a la fuerza de reacción que ejerce el suelo sobre el surcador (Figura 3). Esta fuerza

es proporcional a la fuerza de tiro del tractor. Singh *et al.* [5] evaluaron la fuerza de tiro sobre tres diferentes surcadores. La mayor fuerza se presentó en el surcador de profundidad modelo IISR con una carga $F = 2330$ N. Este valor es considerado para los análisis teóricos y numéricos. En cuanto a la solución teórica, el caso de estudio puede modelarse simplificando el problema mediante el uso de la teoría de viga curva sometida a flexión. Los esfuerzos críticos se presentan en las fibras internas y externas de este elemento [10]. Por lo tanto, los esfuerzos normales se determinan con la Ecuación (1)

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{Mc}{Aer} \quad (1)$$

donde σ es el esfuerzo normal debida a la flexión, M es el momento flexionante, c es la distancia del eje neutro hacia cualquier punto a lo largo del ancho, A es el área de sección transversal de la viga, e es la distancia del eje centroidal (r_c) al eje neutro (r_n), F es la fuerza aplicada y M el momento flexionante.

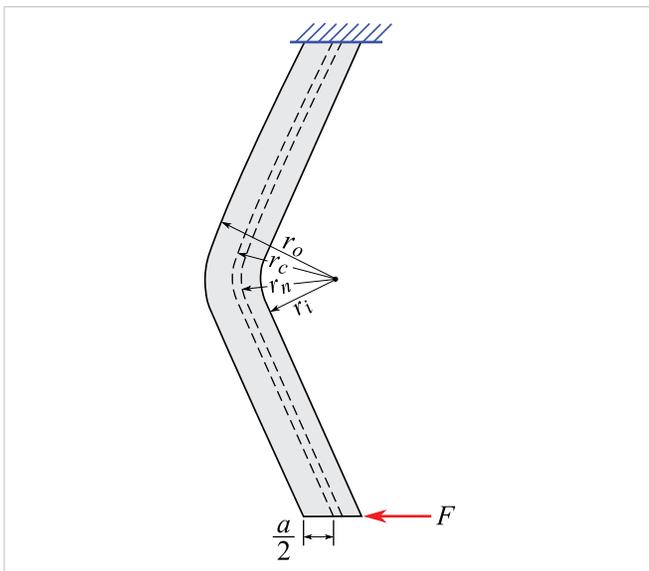


Figura 3. Condiciones de frontera de la viga curva.

El criterio de Pugsley es empleado para determinar el factor de seguridad mínimo que requiere la estructura [11]. En la Ecuación (2) se muestra este criterio, donde N representa el factor mínimo que debe cumplir el elemento mecánico; N_x es un coeficiente de seguridad que está en función de la calidad de los materiales, mantenimiento, inspección, control sobre la carga aplicada e información sobre las soluciones; N_y es un coeficiente

de seguridad que considera el peligro potencial para las personas y las consecuencias del impacto económico si se llegara a presentar la falla. Para el presente diseño se determinó que el factor de seguridad mínimo es de 1.43.

$$N = N_x N_y \quad (2)$$

Análisis numérico

El modelo de elemento finito del timón fue desarrollado en el programa ANSYS 2021 R1. Se generó una malla con 1340 elementos. Como se puede observar en la Figura 4, se aplica un refinado en la sección central de geometría, ya que en esta zona se presenta la máxima concentración de esfuerzos. Se emplea el elemento SOLID 186, el cual es un elemento 3D de alto orden.

Está definido por 20 nodos y cuenta con tres grados de libertad por nodo: traslaciones en las direcciones x , y , z . El elemento admite plasticidad, hiperelasticidad, fluencia, endurecimiento por deformación, grandes deflexiones y gran capacidad de deformación. Como se indicó anteriormente, la parte superior es completamente restringida y la carga se aplica en la parte inferior del modelo.

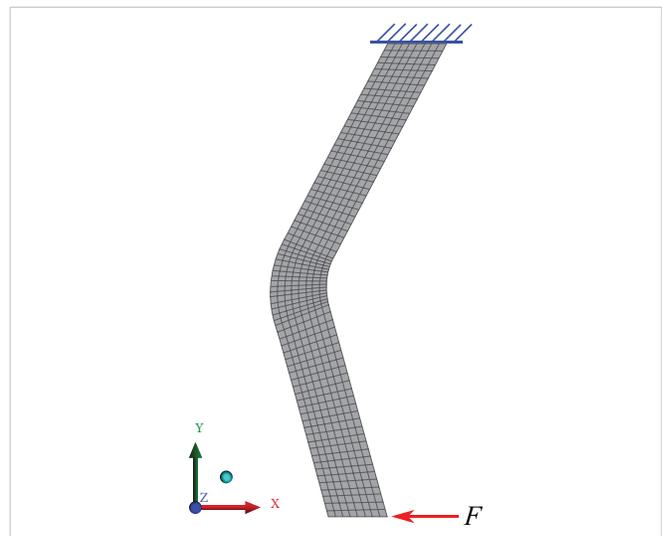


Figura 4. Modelo de elemento finito de la viga curva.

Se considera que el timón es fabricado con el material ASTM A36. Para el análisis numérico se requieren las propiedades del módulo de elasticidad (E), razón de Poisson (ν), esfuerzo de cedencia (S_y) y densidad (ρ). En la Tabla 1 se listan los valores de las propiedades mecánicas antes mencionadas.

TABLA 1 [12]
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO ASTM A36

PROPIEDAD	UNIDADES	VALOR
Módulo de elasticidad, E	GPa	200
Razón de Poisson, ν		0.26
Esfuerzo de cedencia, S_y	MPa	250
Densidad, ρ	g/cm^3	7.80

Reducción de masa

Una vez generado el modelo de elemento finito, se utilizó la técnica de DCC bajo la metodología de superficie de respuesta. El objetivo es estudiar el comportamiento de la masa, el factor de seguridad y los esfuerzos de von Mises al considerar el espesor, radio interior y radio exterior como variables de diseño. MSR es una poderosa herramienta matemática y estadística que se emplea para optimizar el proceso y evaluar la importancia de las variables de diseño y sus efectos en las respuestas. Por otro lado, el DCC, combinado con MSR, es una técnica basada en múltiples variables que conduce a una mejor predicción de las respuestas de salida, utilizando un menor número de pruebas [13].

En el paquete ANSYS se parametrizaron tres variables de diseño del timón del surcador (espesor, radio exterior y radio interior) (Figura 2) y se empleó un DCC para estudiar el efecto de la combinación entre las variables de diseño sobre el esfuerzo, el factor de seguridad y la masa. A cada parámetro de diseño se le asignó un valor máximo y mínimo (acorde a diseños de implementos similares), resultando del DCC 16 pruebas experimentales para este estudio (16 diversas combinaciones entre los parámetros de diseño), considerando valores comerciales para los espesores de placa.

Implementación de templado simulado

El templado simulado (TS) es un método de optimización que puede ser usado para resolver una amplia variedad de problemas [14]. Cuando se aplica este método, la estructura del material representa una solución codificada del problema y la temperatura se usa para determinar cómo se distribuyen las nuevas soluciones y cuándo se aceptan. Cada iteración consta de dos pasos: 1) se perturba la solución y 2) se evalúa la calidad de la solución. Para la evaluación se debe definir una función de error (función objetivo). La solución actual puede ser remplazada por la nueva solución con una cierta probabilidad. En la literatura se pueden encontrar crite-

rios específicos que deben tenerse en cuenta para aceptar una solución cada vez que ha sido perturbada [15].

En este artículo se implementa el algoritmo de templado simulado utilizando la extensión Wintempla [16], la cual se emplea junto con Microsoft Visual Studio para crear aplicaciones de escritorio con C++. Los parámetros empleados para el algoritmo son: 2500 temperaturas, 100 iteraciones por temperatura, temperatura inicial 10, temperatura final $1E-6$, enfriamiento exponencial y criterio de convergencia de $1E-9$. Las variables de diseño son consideradas continuas con los siguientes rangos: $76.2 \leq r_i \leq 80.8$ mm, $147.5 \leq r_o \leq 163.0$ mm y $12.7 \leq t \leq 38.1$ mm. La Ecuación (3) muestra la función objetivo propuesta,

$$F_{obj} = [n - N] + F_p \quad (3)$$

donde n es el factor de seguridad obtenido a partir de la solución teórica, N factor de seguridad mínimo requerido para el diseño y F_p es un factor de penalización. Este último parámetro inicia con un valor de 0, sin embargo, si se llegara a cumplir la condición $n < N$, el factor de penalización toma un valor elevado. Esta operación incrementa el valor de la función objetivo, aumentando el error de la solución e indicando al algoritmo que los valores de las variables de diseño no son óptimos

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis teórico y numérico para el modelo inicial, considerando un radio interno de 76.2 mm, radio exterior de 147.5 mm, un espesor de 25.4 mm y altura de 609.6 mm, se muestran a continuación. La Figura 5a muestra los esfuerzos normales de la solución numérica del timón. Debido a las condiciones de frontera, las fibras del radio interior están sometidas a tensión. Por otro lado, las fibras del radio exterior se encuentran a compresión. La Figura 5b presenta una comparación de los esfuerzos normales máximos obtenidos de forma teórica y numérica. El coeficiente de correlación entre la respuesta teórica y numérica es $R^2 = 0.998$.

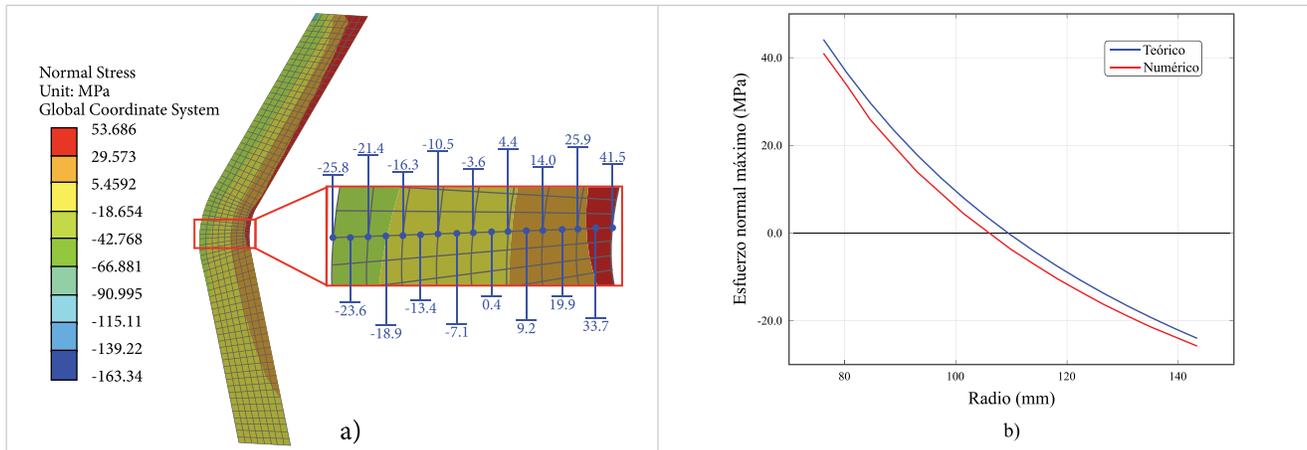


Figura 5. a) Estado de esfuerzos normales obtenidos con el software de elemento finito. b) Comparación de los esfuerzos normales máximos teóricos y numéricos.

La **Tabla 2** lista los resultados obtenidos de forma numérica. El radio interno, externo y el espesor corresponden a los parámetros de entrada. Como parámetros de salida se tiene al factor de seguridad, el esfuerzo de von Mises (σ_{vM}) y la masa del timón. La primera línea corresponde a la solución con los parámetros iniciales.

Estas dimensiones se obtuvieron de implementos similares acorde con la literatura. Posteriormente se listan los 16 puntos de diseño evaluados a través del DCC para la reducción de la masa. En la última línea se muestran los valores para la solución obtenida con el método de optimización de templado simulado (TS).

TABLA 2
SOLUCIÓN NUMÉRICA PARA LOS DIFERENTES PUNTOS DE DISEÑO

PUNTOS DE DISEÑO	PARÁMETROS DE ENTRADA			PARÁMETROS DE SALIDA			
	r_i (mm)	r_o (mm)	t (mm)	FACTOR DE SEGURIDAD	σ_{vM} (MPa)	MASA (kg)	REDUCCIÓN DE MASA (%)
Inicial	76.20	147.5	25.4	1.95	128.0	9.20	-
1	76.20	147.5	19.05	1.55	160.3	6.90	25.0
2	78.50	150.0	12.7	1.03	240.9	4.59	50.1
3	78.50	150.0	38.1	2.82	88.5	13.79	49.9 (I)
4	79.65	150.0	25.4	1.95	128.0	9.20	0.0
5	80.80	150.0	12.7	1.03	241.8	4.60	50.0
6	80.80	150.0	38.1	2.82	88.5	13.80	50.0 (I)
7	78.50	156.5	25.4	1.94	128.2	9.19	0.1
8	79.65	156.5	12.7	1.04	240.1	4.59	50.1
9	79.65	156.5	25.4	1.91	128.2	9.19	0.1
10	79.65	156.5	38.1	2.82	88.5	13.78	49.8 (I)
11	80.80	156.5	25.4	1.95	128.2	9.19	0.1
12	78.50	163.0	12.7	1.04	238.8	4.59	50.1
13	78.50	163.0	38.1	2.82	88.3	13.77	49.7 (I)
14	79.65	163.0	25.4	1.95	127.8	9.18	0.2
15	80.80	163.0	12.7	1.03	240.4	4.59	50.1
16	80.80	163.0	38.1	2.82	88.3	13.77	49.7 (I)
17	80.40	150.9	17.5	1.43	174.6	6.33	31.2
TS	80.40	150.9	17.5	1.43	174.6	6.33	31.2

(I) Puntos de diseño donde se presenta un incremento de la masa respecto al valor inicial.

La **Tabla 2** muestra los puntos de diseño obtenidos del DCC en ANSYS, considerando valores comerciales de espesor de placa de acero (variables discretas) y también muestra la evaluación con la solución óptima arrojada por el método de templado simulado (TS) considerando variables continuas. De acuerdo con los primeros 16 puntos de diseño mostrados en la tabla anterior, el candidato corresponde al punto 1 para la reducción de masa y una resistencia adecuada. Este punto permite una disminución de masa del 25 % respecto a las condiciones de diseño iniciales. Además, se cuenta con un factor de seguridad mínimo de 1.55, valor que cumple con el criterio de Pugsley, presentando un esfuerzo de von Mises de 160 MPa que se encuentra por debajo del esfuerzo de cedencia del material seleccionado para la fabricación del timón (250 MPa).

Por otro lado, los parámetros de diseño obtenidos con templado simulado ofrecen una reducción de masa de 31 % y un factor de seguridad de 1.43. Sin embargo, el método de TS se trabajó con variables continuas en los rangos mencionados anteriormente, mientras que en ANSYS se hizo uso de espesores comerciales (variables discretas) y al trabajar con espesores comerciales se reducen costos de manufactura. Por lo anterior, el punto de diseño 17 de la **Tabla 2** se evaluó numéricamente a los mismos parámetros de diseño del timón obtenidos por TS para el caso óptimo. Los resultados muestran que por ambos métodos se obtiene la misma respuesta. Sin embargo, en el mercado no se encuentran placas de

17.5 mm de espesor para la fabricación del timón. Se tendría que realizar un maquinado adicional para conseguir este valor, lo cual implica un gasto extra en la fabricación de la pieza.

La mejor opción es considerar el espesor de 19.05 mm (3/4 de pulgada), espesor disponible en catálogos comerciales (punto de diseño 1, **Tabla 2**). Con esto se reducen los costos de manufactura, ofreciendo una adecuada resistencia a un mínimo peso. En la **Tabla 2** también se muestran algunos puntos de diseño (3, 6, 10, 13 y 16) que ofrecen factores de seguridad por arriba del criterio seleccionado (1.43). Sin embargo, estos puntos de diseño incrementan el peso de la pieza, el costo de adquisición del material y la manufactura, en comparación con el punto de diseño 1.

Una vez validado del modelo numérico del timón con el esfuerzo normal determinado con la teoría de la viga curva, se emplea el esfuerzo de von Mises para verificar el factor de seguridad. La **Figura 6a** muestra el gráfico de superficie de respuesta, en donde se puede observar el efecto del radio exterior y el espesor sobre el esfuerzo de von Mises. Por otro lado, la **Figura 6b** ilustra la respuesta de estos mismos parámetros sobre la masa de la estructura. En ambas gráficas es evidente que la variación en el espesor impacta enormemente en la respuesta del esfuerzo y la masa. En cambio, el radio exterior no parece tener un efecto significativo sobre estos parámetros.

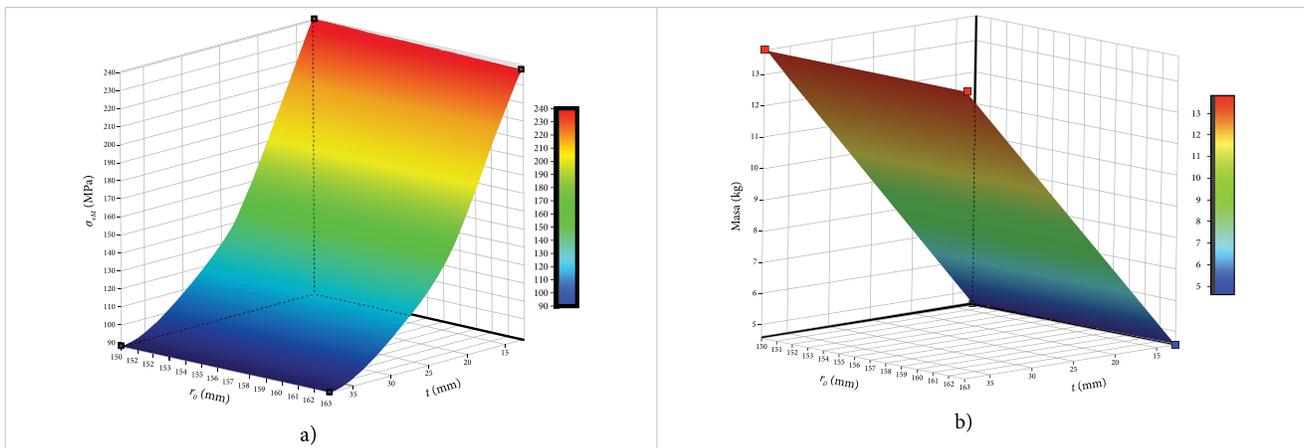


Figura 6. Gráficos de superficie de respuesta para: a) el esfuerzo de von Mises y b) la masa de la estructura.

Finalmente, la **Figura 7** exhibe la relación entre el espesor y el factor de seguridad del timón. Como se puede observar, para lograr un factor de seguridad cercano a 1.43 se requiere un espesor comercial de 19.05 mm. Al

incrementar el espesor, se incrementa el factor de seguridad. Sin embargo, lo anterior implica un incremento en la masa de la estructura, los costos de material y los costos de manufactura.

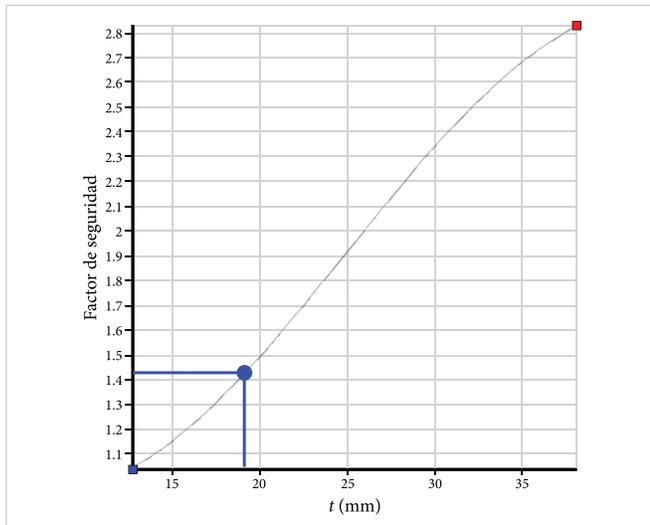


Figura 7. Relación entre el espesor y el factor de seguridad de la estructura.

IV. CONCLUSIONES

Uno de los elementos más importantes de un surcador es el timón. Este elemento puede ser geoméricamente optimizado para tener una adecuada resistencia a un mínimo peso, lo que reduce los costos de adquisición de material y manufactura. En el presente artículo se llevó a cabo de forma satisfactoria el diseño y optimización del timón de un surcador, empleando el método de elemento finito para el diseño del timón, el cual se validó de forma teórica. La optimización del timón se realizó aplicado dos métodos de optimización: un DCC en conjunto con MSR y el método TS.

Se desarrolló un modelo de elemento finito del timón del surcador bajo carga y se compararon los resultados con cálculos teóricos. Los resultados teórico-numéricos mostraron una alta correlación (0.998), lo que permitió la validación del modelo. La optimización usando TS y DCC en combinación con MSR muestran resultados similares y por ambas metodologías fue posible reducir la masa del timón en un 31 % respecto al inicial, respetando el criterio de seguridad establecido por el método de Pugsley (1.43), considerando un radio interior de 80.4 mm, radio exterior de 150.9 mm y espesor de 17.5 mm para el timón.

Estos resultados se obtuvieron considerando al espesor como una variable continua. Sin embargo, sopesar un espesor no comercial involucra costos adicionales en la manufactura. Por lo anterior, el punto de diseño 1 de la optimización, empleando DCC en combinación

con MSR, se considera el mejor punto de diseño, con el cual es posible reducir la masa inicial un 25% con una resistencia adecuada (factor de seguridad de 1.55) con un radio interior de 76.20 mm, radio exterior de 147.50 mm y espesor de 19.05 mm (espesor comercial). El templado simulado podría emplearse en el proceso de diseño óptimo cuando no sea posible acceder a herramientas numéricas y al diseño de experimentos.

REFERENCIAS

- [1] M. W. Barreiro, "Evaluación de tecnologías de preparación de suelos con tracción animal", *Revista Ingeniería Agrícola*, vol. 6, no. 1, pp. 9-13, 2017.
- [2] E. Mamman y K. C. Oni, "Draught performance of a range of model chisel furrowers", *Agric. Eng. Int.: CIGR J.*, vol. VII, 2005.
- [3] F. A. Medeiros, A. V. d. Reis, A. L. T. Machado, R. L. T. Machado y G. Stefanello, "Use of walking tractor powered rotary tiller in no-tillage system", *Revista Ciência Agronômica*, vol. 46, no. 1, pp. 54-63, 2015, doi: 10.1590/S1806-66902015000100007.
- [4] M. Barzegar, S. Hashemi, H. Nazokdast y R. Karimi, "Evaluating the draft force and soil-tool adhesion of a UHMW-PE coated furrower", *Soil Tillage Res.*, vol. 163, pp. 160-167, 2016, doi: 10.1016/j.still.2016.05.016.
- [5] S. Singh, A. Tripathi y A. K. Singh, "Performance evaluation of furrow openers for sugarcane planting in sub-tropical India", *Agric. Eng. Int.: CIGR J.*, vol. 20, no. 1, pp. 56-62, 2018, <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/4040/2693>.
- [6] R. Jakasania, A. Vadher y R. Yadav, "Structural analysis of parabolic type subsoiler using CAD software", *Int. j. sci. environ.*, vol. 5, no. 5, pp. 3415-3422, 2016, <https://www.ijset.net/journal/1323.pdf>.
- [7] A. Kadam y N. Chhaphkane, "Design and analysis of subsoiler", *Int. j. modern trends eng. sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 11-14, 2017.
- [8] A. Jahanbakhshi y K. Heidarbeigi, "Simulation and mechanical stress analysis of the lower link arm of a tractor using finite element method", *J Fail. Anal. and Preven.*, vol. 19, no. 6, pp. 1666-1672, 2019, doi: 10.1007/s11668-019-00763-2.

- [9] A. Saldaña-Robles, A. Bustos-Gaytán, J. Diosdado- De la Peña, A. Saldaña-Robles, V. Alcántar-Camarena, A. Balvantín-García y N. Saldaña-Robles, “Structural design of an agricultural backhoe using TA, FEA, RSM and ANN”, *Comput Electron Agric*, vol. 172, pp. 105278, 2020, doi: [10.1016/j.compag.2020.105278](https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105278).
- [10] J. E. Shigley, *Shigley's mechanical engineering design*. McGraw-Hill Education, 2011.
- [11] L. C. Ríos y E. Roncancio, “Análisis y desarrollo de un programa de selección rápida de factores de seguridad, para diseño de elementos mecánicos”, *Scientia et technica*, vol. 1, no. 1, pp. 255-260, 2007.
- [12] MatWeb®, “MatWeb Property data”. Matbew.com. <http://www.matweb.com/index.aspx> (consultada febrero 10, 2021).
- [13] J. P. Maran y S. Manikandan, “Response surface modeling and optimization of process parameters for aqueous extraction of pigments from prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit”, *Dyes and Pigments*, vol. 95, no. 3, pp. 465-472, 2012, doi: [10.1016/j.dyepig.2012.06.007](https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2012.06.007).
- [14] F. Crimins, “Numerical recipes in C++: The art of scientific computing”, *Appl Biochem Biotechnol*, vol. 104, no. 1, p. 95, 2003, doi: [10.1007/s12010-003-0001-6](https://doi.org/10.1007/s12010-003-0001-6).
- [15] S. Ledesma, G. Aviña-Cervantes y R. Sanchez, “Practical considerations for simulated annealing implementation”, en *Simulated annealing*, C. M. Tan, Ed., IntertechOpen, 2008, cap. 20, pp. 401-420.
- [16] *Wintempla*. (2021), S. Ledesma. (Consultado marzo 3, 2021). [En línea]. Disponible: <http://www.sintesis.ugto.mx>

Metodología de Diseño de Prendas Usando Textiles Impresos en 3D con Filamento PET Reciclado

Garment Design Methodology Using 3D Printed Textiles with Recycled PET Filament

M. P. Restrepo-Salgado¹, D. Cortés-Sáenz¹, S. E. Arbeláez-Ríos¹

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

RESUMEN

El plástico es el material más frecuentemente encontrado a escala global en costas y ambientes marinos. Asimismo, los residuos sólidos representan una fuente de emisión y reproducción de vectores, con aportaciones a la contaminación atmosférica en entornos urbanos. Incorporar materia prima derivada de desechos plásticos a la cadena de suministro para generar productos de alto valor, como lo sugiere el concepto de economía circular, ayudaría a disminuir la contaminación. Una forma de lograrlo es a través de la implementación de tecnologías en crecimiento como la manufactura aditiva (MA), con la cual se pueden manufacturar productos atractivos, innovadores y personalizables. La industria textil representa un nicho de oportunidad para la implementación de estos materiales y tecnologías, a partir de la generación de prendas con alto valor ecológico y emocional. Por lo tanto, se propone una metodología donde la fase 1 y 2 involucran la primera etapa del diseño guiado por materiales (MDD), la fase 3 habla sobre la definición del usuario y prenda a diseñar y, finalmente, la fase 4 y 5 se centran en el modelo de procesos representativos para el desarrollo actual de prendas de vestir. Se concluye que la fabricación de productos con alto valor ecológico, a partir de residuos plásticos, es una opción viable y económicamente eficiente siempre y cuando el producto se diseñe pensando en todas sus fases de ciclo de vida, se conozca el material, su comportamiento y cómo el usuario lo percibe.

PALABRAS CLAVE: textil impreso en 3D; economía circular; diseño de prendas; caracterización experiencial.

ABSTRACT

Plastic is the material most frequently found on a global scale in coasts and in the marine environment. Likewise, solid waste represents a source emission and vector reproduction, with contributions to air pollution in urban environments. Incorporating raw material derived from plastic waste into the supply chain to generate high-value products as suggested by the concept of circular economy, would help reduce pollution. One way to achieve this is through the implementation of growing technologies such as additive manufacturing (AM), with which attractive, innovative and customizable products can be manufactured. Therefore, a methodology is proposed where phase 1 and 2 involve the first stage of Material Driven Design (MDD), phase 3 talks about the definition of the user and garment to design and, finally, phases 4 and 5 are focus on the representative process model for today's clothes development. It is concluded that the manufacture of products with high ecological value, from plastic waste is a viable and economically efficient option as long as the product is designed with all its life cycle phases in mind, the material is known, its behavior and how the user perceives it.

KEYWORDS: 3D printed textile; circular economy; garment design; experiential characterization.

Correspondencia:

DESTINATARIO: María Paulina Restrepo Salgado
INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez /
Instituto de Ingeniería y Tecnología
DIRECCIÓN: Av. del Charro 450 norte, col. Partido Romero,
C. P. 32310. Ciudad Juárez, Chihuahua, México
CORREO ELECTRÓNICO: mprestpos92@gmail.com

Fecha de recepción: 30 de abril de 2021. **Fecha de aceptación:**
6 de octubre de 2021. **Fecha de publicación:** 29 de octubre de
2021.



I. INTRODUCCIÓN

El diseño de productos debe cumplir con diversas etapas para cubrir diferentes requerimientos [1]. Estos aspectos abarcan el diseño visual, la manufactura del producto y las necesidades del mercado [2]. Además, se debe considerar la durabilidad, compatibilidad, modularidad o funciones multitarea del producto para minimizar el consumo de materia prima y mantenerlo circulando en bucles cerrados [3]. En relación a lo anterior, McCann [4] menciona que para el diseño de prendas innovadoras se debe atender las necesidades del usuario final desde puntos de vista técnicos, funcionales, estéticos y culturales. Por lo tanto, presenta una herramienta que guía el proceso de investigación y desarrollo del diseño en la aplicación de tecnologías inteligentes en la creación de prendas de vestir.

Asimismo, Gill [5] habla sobre los enfoques para el desarrollo de prendas de vestir que incluyen pasos clave para definir las dimensiones básicas de las formas de patrones. Menciona que existen estos tres enfoques de producción de prendas que dependen del enfoque de producción que se le desea dar al diseño y desarrollo de este producto: 1) listo para usar (RTW: *Ready to Wear*), 2) hecho a la medida (*bespoke*) y 3) personalización en masa. Por su parte, Karana [6] presenta la metodología de diseño guiado por materiales (MDD: *Material Driven Design*), la cual permite diseñar para las experiencias con y para un material. Como parte de esta metodología, desarrolló una herramienta llamada caracterización experiencial, la cual evalúa cuatro dimensiones que permiten investigar cómo se percibe o se acepta un material, es decir, qué hace que las personas piensen, sientan y hagan, lo cual es esencial cuando los materiales se toman como punto de partida del proceso creativo y se exploran por su potencial para evocar una experiencia de producto única y significativa [7].

Herrmann [8] menciona que los textiles y la ropa son parte fundamental de la vida cotidiana y elemento muy importante de la economía. Sin embargo, el fenómeno de *fast fashion* trabaja de forma lineal (Figura 1), haciendo que la vida útil de una prenda sea más corta. Por tal razón, sugiere transformar la manera en que la ropa es diseñada, vendida y usada (Figura 2). En consecuencia, la pieza diseñada también debería estar pensada para su futuro reciclaje, puesto que este aspecto puede hacer que crezca positivamente la cantidad de material apto para ser reciclado y recuperado [9]. Por lo tanto,

implementar el diseño circular en los procesos ayuda a contrarrestar la obsolescencia y a mantener al producto lo más cerca de su propósito original. También, permite que productos usados se conviertan en un elemento integral de la materia prima [10].

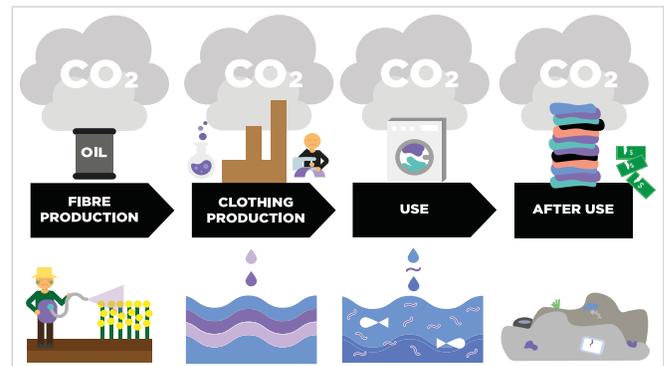


Figura 1. Ciclo de vida actual de una prenda de vestir, proceso lineal. Reproducida de [8].



Figura 2. Modelo circular para la economía textil. Reproducida de [8].

Adoptar y ajustar tecnologías innovadoras al sector de la confección puede generar productos más atractivos. En este caso, la MA permitirá manufacturar textiles más limpios y sostenibles [11]. Diversas tecnologías de MA han sido desarrolladas hasta el momento y, según Wong [12], estas pueden clasificarse de acuerdo a la presentación del material que usen, sean polvos, líquidos o sólidos. Por ejemplo, la tecnología de modelado por deposición fundida (FDM: *Fused Deposition Modeling*) usa como materia prima diversos plásticos, mayormente en forma de filamento. Por su parte, FormFutura [13] ha desarrollado filamento a partir de polietileno de tereftalato reciclado (rPET), en combinación con otros agentes.

De acuerdo con Aizenshtein [14], todos los desechos de polímeros, incluido el tereftalato de polietileno (PET: *polyethylene terephthalate*), comprenden más del 50% de

los desechos sólidos provenientes de hogares (SHW: *solid household wastes*), cifra consecuente con el crecimiento del rol y la importancia del plástico debido al aumento poblacional junto con sus efectos. En busca de mitigar la contaminación por plástico, en 2014, aproximadamente el 71% de los paquetes de PET recolectados en el mundo se procesaron en fibra. En este sentido, Zhang [15] menciona que convertir una gran cantidad de desechos de botellas PET en productos textiles de alto valor es considerada una alternativa ecológica y económicamente eficiente con grandes beneficios ambientales

En relación a lo anteriormente expuesto, Grain [16] realizó un estudio cuyo objetivo era examinar posibilidades para el diseño y fabricación de prendas de moda impresas en 3D, utilizando filamentos rPET y así poder determinar si era factible utilizar este material para crear piezas de moda portátiles o escultóricas, a través del diseño, desarrollo, muestreo y pruebas, mientras se utilizaba un material totalmente sostenible.

Asimismo, algunos diseñadores se han atrevido a utilizar las tecnologías de AM para producir sus prendas de vestir. La diseñadora Gabriela Ligenza realizó un sombrero impreso en *nylon* mediante la tecnología sinterizado selectivo por láser (SLS: *selective laser sintering*). Esta diseñadora ha mostrado la variedad y el potencial que tienen las tecnologías de impresión 3D dentro del diseño y fabricación de accesorios contemporáneos [17]. De igual forma, la diseñadora Iris Van Herpen ha realizado proyectos con diferentes tecnologías de manufactura aditiva, por ejemplo, su colección *Crystallization* y *Escapism* en las cuales utilizó sinterizado láser selectivo, su colección *Voltage* fue impresa en la tecnología Polyjet [18]. Por su parte, Kim [19] realizó una investigación para estudiar la implementación y mejora de la tecnología FDM (*fused deposition modeling*) en la industria de la moda. Como material de impresión utilizaron filamento de poliuretano termoplástico (TPU: *thermoplastic polyurethane*) y acrilonitrilo butadieno estireno (ABS: *acrylonitrile butadiene styrene*).

Kirsten Lussenburg [20] aplica el MDD para explorar cómo esta metodología podría ser usada en un proyecto donde la impresión 3D es el método de manufactura principal. En este estudio se utilizó como material de impresión el ácido poliláctico (PLA: *polylactic acid*) y la tecnología FDM. Por otra parte, dice que los textiles impresos en 3D (3DP Textiles) (Figura 3) son materiales semidesarrollados, una combinación entre material, es-

tructura y proceso (MSP), que son aspectos que definen los dominios y oportunidades. De acuerdo con la investigadora, el requerimiento principal es la flexibilidad.



Figura 3. Ejemplo de textiles impresos en 3D. Reproducida de [20].

En definitiva, es necesario generar propuestas que posibiliten recuperar e incorporar los desechos de plásticos a la cadena suministro de forma tal que el valor del producto se mantenga en el tiempo. Este documento tiene como objetivo presentar una propuesta metodológica que permita generar prendas de vestir a partir de textiles impresos por medio de la tecnología FDM fabricados a base de PET reciclado, haciendo uso de diferentes métodos y herramientas de diseño.

II. MÉTODO

Para generar la propuesta metodológica, se partió de una investigación de necesidades que permitiera determinar un nicho de oportunidad para el desarrollo de productos sostenibles.

Se realizó una búsqueda de antecedentes y una revisión teórica en bases de datos como ScienceDirect, Springer y Scopus, y en buscadores como Google Scholar. Se revisaron antecedentes (Figura 4) relacionados con el diseño de productos, impresión 3D, filamento PET reciclado, economía circular y contaminación ambiental. A partir de esta búsqueda se encontró un nicho de oportunidad en el diseño y desarrollo de accesorios y prendas con ayuda de la tecnología (FDM).

Por otra parte, la revisión teórica (Figura 5) se centró en tres temas principales: materiales, diseño y desarrollo de productos y sostenibilidad, permitiendo identificar métodos y herramientas que se ajustarán al nicho de oportunidad anteriormente establecido.

A partir de estos hallazgos, se realizó la propuesta metodológica que se presenta a continuación, la cual expone cada uno de los métodos y herramientas que se sugieren ejecutar para diseñar una prenda de vestir a partir de filamento rPET fabricada con la tecnología FDM.



Figura 4. Resumen de revisión de antecedentes.

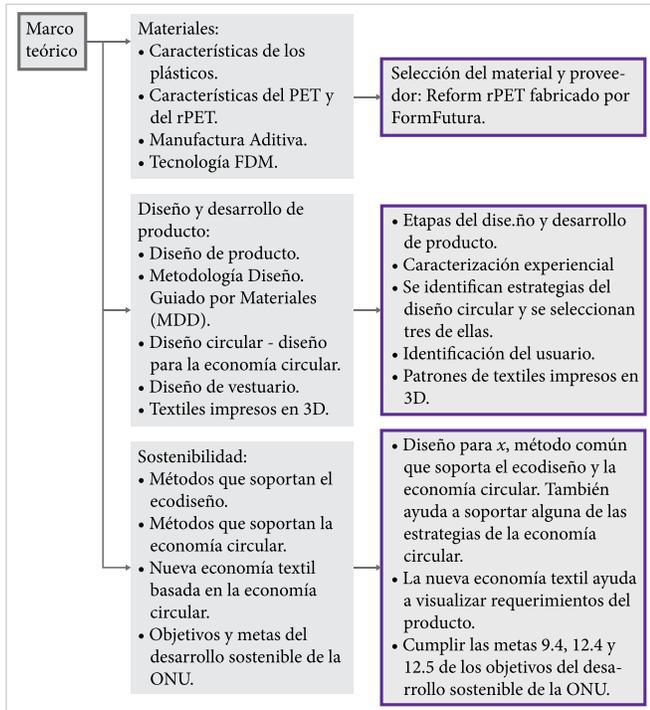


Figura 5. Revisión teórica.

III. RESULTADOS

La metodología propuesta como resultado del presente trabajo incluye cinco fases, de las cuales las primeras dos se realizan con ayuda de la primera etapa del MDD propuesto por Karana [6], que se enfoca en conocer el material desde características técnicas y experienciales. Kirsten Lussenburg [20] habla detalladamente sobre cómo conocer y entender un textil impreso desde la perspectiva del MDD.

FASE 1: Selección del textil impreso en 3D

Se sugiere hacer una búsqueda en las librerías web que se muestran en la Figura 6, las cuales contienen gran variedad de modelos 3D. La búsqueda se debe limitar por los siguientes requerimientos: estructura fina y de múl-

tiples ensambles, geometría pequeña con aristas poco pronunciadas, preferiblemente curvas [20].

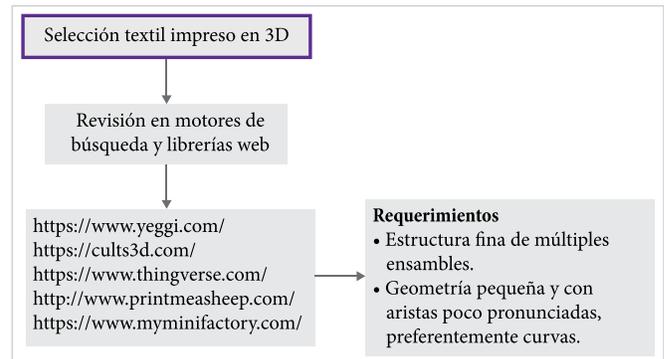


Figura 6. Revisión en motores de búsqueda y librerías web.

FASE 2: Impresión y evaluación de los textiles impresos en 3D

Selección del material de impresión. Se sugiere revisar en el mercado los diferentes proveedores de filamento rPET. En este caso se utiliza filamento de Reform rPET [13]. A partir de la ficha técnica entregada por el fabricante, se establecen los parámetros de impresión, tales como temperatura de impresión, temperatura de cama y velocidad del ventilador. Asimismo, se debe hacer una comparativa entre las propiedades mecánicas del rPET y el PET.

Caracterización del proceso de impresión. Como se muestra en la Figura 7, se sugiere usar el software Ultimaker Cura para identificar y modificar parámetros de impresión, tales como espesor de capa, densidad de relleno, temperatura de impresión, temperatura de cama, velocidad de impresión, velocidad del ventilador, generación de soporte. Esta herramienta computacional provee información como el tiempo de fabricación y cantidad de material utilizado. Después, estos parámetros e información se organizan en tablas para cada uno de los textiles impreso seleccionados. Una vez que

se ajustan los parámetros de impresión, se realiza la impresión de los modelos de textiles haciendo uso de una impresora 3D. En este caso, la impresora es marca Creality modelo Ender 3 de tecnología FDM. Además, se propone observar el comportamiento del material durante la impresión y posterior a ella para determinar si se deben ajustar los parámetros de impresión.

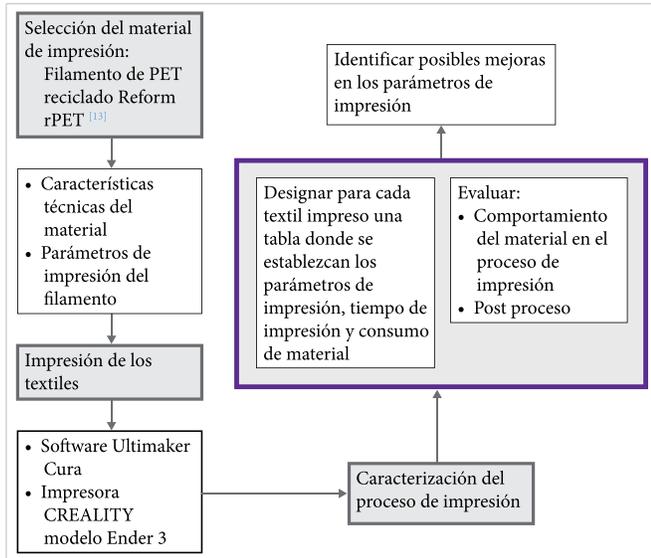


Figura 7. Caracterización del proceso de impresión.

Evaluación del textil. Como se observa en la Figura 8, esta evaluación se basa en dos encuestas, una donde se evalúan aspectos geométricos, de tamaño y función, y la otra evalúa características experienciales.

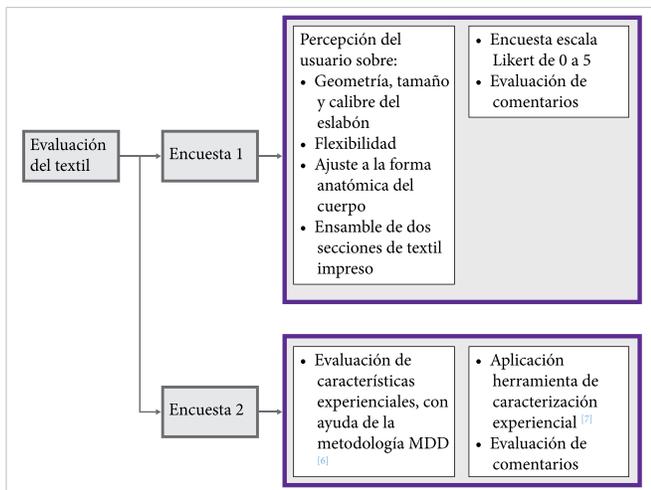


Figura 8. Evaluación textil.

Encuesta 1. En esta se utiliza la escala Likert para evaluar la percepción del usuario sobre la geometría, tamaño y calibre del eslabón (piezas que conforman el

textil impreso) (Figura 9). También, se pregunta sobre la flexibilidad del material (es decir, si caía libremente), si este se ajusta a la forma anatómica del cuerpo. Finalmente, se pide ensamblar dos secciones de malla y calificar el nivel de dificultad de la tarea (encuesta propuesta por los autores).

¿Qué tanto le agrada la geometría del eslabón?
Marca solo un óvalo

0 1 2 3 4 5

Poco Mucho

¿Qué tanto le agrada el tamaño del eslabón?
Marca solo un óvalo

0 1 2 3 4 5

Poco Mucho

¿Cree que el textil es flexible (es decir, que cae libremente, se dobla) de acuerdo a los eslabones que lo conforman?
Marca solo un óvalo

0 1 2 3 4 5

Poco Mucho

¿Le parece adecuado el calibre (grosor) del eslabón?
Marca solo un óvalo

0 1 2 3 4 5

Poco Mucho

¿Cómo percibió la tarea de ensamblar dos secciones del textil impreso?
Marca solo un óvalo

0 1 2 3 4 5

Poco Mucho

¿Cree que el textil impreso se ajusta a la forma anatómica del cuerpo?
Marca solo un óvalo

0 1 2 3 4 5

Poco Mucho

Figura 9. Encuesta de forma y función.

Encuesta 2. Se aplica la herramienta propuesta por Camera y Karan [7] para la caracterización experiencial (Figura 10). Ahí se evalúan cuatro dimensiones: performativa, sensorial, afectiva e interpretativa. Esta encuesta es posible adaptarla a Google forms. De acuerdo con Kirsten Lussenburg [20], se aplica de forma presencial y a un grupo igual o mayor a 10 personas.



Figura 10. Herramienta de caracterización experiencial Ma2E4. La primera fotografía muestra el vocabulario performativo y la segunda es un ejemplo de cómo analiza y representa los datos recabados. Reproducida de [7].

FASE 3: Definición de usuario y prenda a diseñar

Definición del usuario. Siguiendo con la etapa conceptual, se procede a identificar al usuario final a partir de lo sugerido por Gill [5]. El primer paso es definir las características que debe tener el usuario. Además, se deben tener en cuenta algunos requerimientos, como la demanda del cuerpo, demanda de la actividad, que el producto sea adecuado para el propósito y finalmente consideraciones estéticas y funcionales. Una vez se precisan estas características, se contrastan con perfiles de consumidor ya determinados, como los propuestos por Bell [21].

Definir la prenda a diseñar. Se concretan las siguientes necesidades para la prenda: diseño atemporal, diseño para la durabilidad del producto, diseño para el fácil mantenimiento y reparación, diseño para el fácil desensamble. En busca de dar respuesta a estas necesidades, se propone realizar una entrevista a expertos para realizar un *benchmarking* y establecer conceptos de posibles prendas a confeccionar. Posteriormente, aplicar una matriz Pugh para seleccionar el concepto que mejor se adapte a los requerimientos anteriormente establecidos a partir de las encuestas y en las entrevistas a expertos. Lo anterior se ve resumido en la Figura 11.

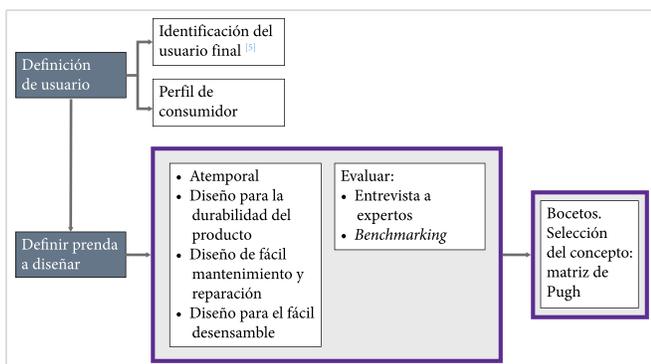


Figura 11. Definición de usuario y prenda a diseñar.

FASE 4

A partir de la fase 4, se empieza a trabajar sobre el modelo de procesos representativos para el desarrollo actual de prendas de vestir (Figura 12), haciendo uso del enfoque hecho a la medida (*bespoke*) [5]. En esta fase se trabajará con la parte de medición y construcción del patronaje.

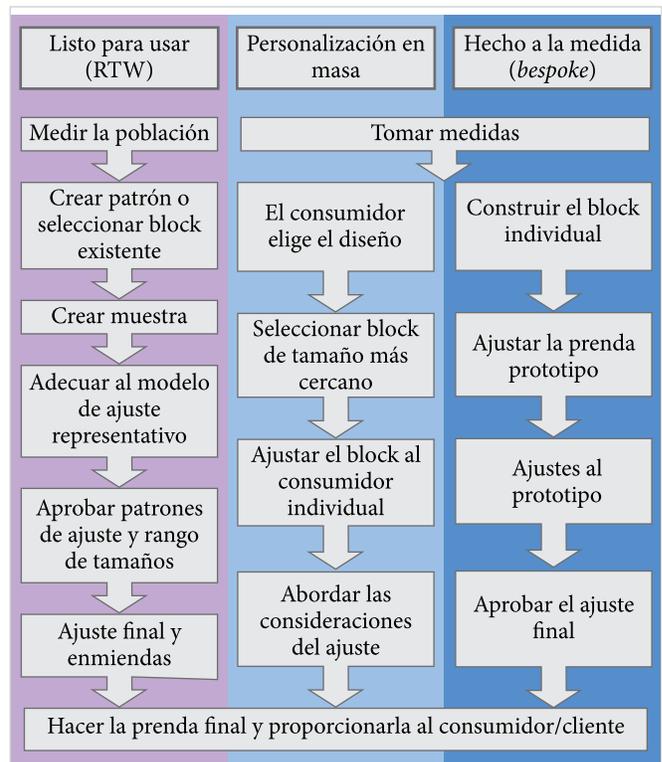


Figura 12. Procesos representativos para el desarrollo actual de prendas de vestir. Traducida de [5].

Tomar medidas y crear el patronaje de la prenda. Se toman las medidas del cliente con ayuda de una cinta métrica y a partir de ellas se genera el patronaje de la prenda. Se aconseja utilizar la herramienta computacio-

nal Marvellous Designer, que permite trabajar con textiles de forma realista, realizar los patrones para confeccionar productos, importar texturas y finalmente unirlos para generar un modelo 3D del producto.

FASE 5: Desarrollo

Prototipado. Se imprimen segmentos del textil de acuerdo a la capacidad de la impresora, luego se unen de acuerdo al patronaje de la prenda establecida.

Validación del prototipo. Continuando con el enfoque Hecho a la medida, se realiza una validación del prototipo (Figura 13) para ajustarlo mejor a las necesidades y gustos del usuario, así como para conocer aspectos técnicos como durabilidad técnica y huella ecológica, estimado de cuánto material se recupera por prenda.

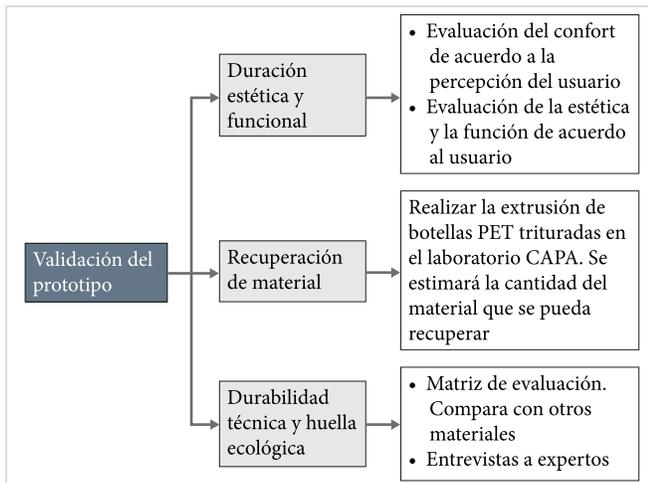


Figura 13. Validación del prototipo.

Ajustes al prototipo y aprobación del prototipo final. La validación y evaluación del primer prototipo permite realizar mejoras para el producto final. En esta etapa, el equipo de diseño tendrá que tomar decisiones para implementar dichas mejoras y así aprobar el modelo final.

Confeccionar la prenda final y proveer al consumidor. En este punto, la prenda ya estará lista para ser entregada al usuario. Sin embargo, no solo se trata de proveer un producto sino también de ofrecer un servicio con el fin de aumentar la esperanza de vida de dicho elemento. Estas estrategias de servicios pueden ser servicio de reparación y disposición de material.

IV. CONCLUSIONES

La recuperación de residuos plásticos cada vez toma mayor importancia, pues los niveles de contaminación por estos elementos han tenido un incremento considerable en las últimas décadas. Por tanto, opciones como la de fabricar productos con alto valor ecológico a partir de residuos plásticos son viables y económicamente eficientes.

Un producto debe ser diseñado pensando en todas sus fases de ciclo de vida, puesto que se puede reducir el uso de materia prima, se pueden identificar técnicas de manufactura más eficientes y mejorar funcionalidad del mismo. Asimismo, se puede aumentar la probabilidad de que sea reusado, reparado o reciclado en un futuro.

Conocer el material, su comportamiento y cómo el usuario lo percibe permite diseñar adecuadamente y tomar decisiones acertadas respecto a la experiencia que se desea transmitir a través del material. En este sentido, el valor emocional posibilita que el producto tenga una esperanza de vida más amplia.

De acuerdo a lo anterior, la implementación de la tecnología FDM para la creación de prendas posibilita el uso de un solo material para la creación del textil y de las uniones. También, al ser una tecnología en crecimiento que ofrece la fabricación de elementos personalizados, genera expectativa y fascinación en el usuario. Además, permite disminuir el consumo de material puesto que los desechos son mínimos. Aun así, estos desechos exigüos se pueden disponer de forma correcta para generar nuevos filamentos.

REFERENCIAS

- [1] K. T. Ulrich y S. D. Eppinger, *Diseño y desarrollo de productos*. McGraw-Hill, 2003, 409 pp.
- [2] M. Baxter, *Product design. Practical methods for the systematic development of new products*, 1.ª ed. CRC Press, 1995, 304 pp.
- [3] K. Medkova y B. Fifield, "Circular Design - Design for Circular Economy", en *Lahti Cleantech Annual Review 2016*, K. Cura, ed., Finlandia: Lahti University of Applied Sciences, 2016, pp. 32-47.

- [4] J. McCann, R. Hurford y A. Martin, “A design process for the development of innovative smart clothing that addresses end-user needs from technical, functional, aesthetic and cultural view points”, *Ninth IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC'05)*, 2005, pp. 70-77, doi: 10.1109/ISWC.2005.3.
- [5] S. Gill, “A review of research and innovation in garment sizing, prototyping and fitting”, *Text. Prog.*, vol. 47, no. 1, pp. 1-85, 2015, doi: 10.1080/00405167.2015.1023512.
- [6] E. Karana, B. Barati, V. Rognoli y A. Zeeuw van der Laan, “Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences”, *Int. J. Des.*, vol. 9, no. 2, pp. 35-54, 2015. [En línea]. Disponible en: www.ijdesign.org/index.php/IJDesign/article/view/1965
- [7] S. Camera y E. Karana, “Experiential Characterization of Materials: toward a toolkit”, *DRS2018 Catal.*, vol. 4, no. ag., 2018, doi: 10.21606/drs.2018.508.
- [8] Ellen MacArthur Foundation, “A new textiles economy: Redesigning fashion’s future”, *Circular Fibres Initiative*, 2017. [En línea]. Disponible en: static1.squarespace.com/static/5afae80b7c93276139def3ec/t/5b07ea5f88251b7468549158/1527245413992/A-New-Textiles-Economy_Full-Report_Updated_1-12-17.pdf
- [9] M. K. Eriksen y T. F. Astrup, “Characterisation of source-separated, rigid plastic waste and evaluation of recycling initiatives: Effects of product design and source-separation system,” *Waste Manag.*, vol. 87, pp. 161-172, 2019, doi: 10.1016/j.wasman.2019.02.006.
- [10] Y. E. Elmogahzy, “Engineering design for sustainability in the textile and garment industry”, en *Engineering Textiles. Integrating the Design and Manufacture of Textile Products*, Y. E. Elmogahzy, ed. Woodhead Publishing, 2020, cap. 5, pp. 85-117.
- [11] K. Chatterjee y T. K. Ghosh, “3D Printing of Textiles: Potential Roadmap to Printing with Fibers”, *Adv. Mater.*, vol. 32, no. 4, pp. 1-24, 2020, doi: 10.1002/adma.201902086.
- [12] K. V. Wong y A. Hernandez, “A Review of Additive Manufacturing,” *ISRN Mech. Eng.*, 2012, doi: 10.5402/2012/208760.
- [13] Formfutura, “ReForm rPET - Off-Black | Formfutura”, *Formfutura.com*. Disponible en: www.formfutura.com/shop/product/reform-rpet-off-black-974 (consulta: sept. 5, 2020).
- [14] E. M. Aizenshtein, “Bottle Wastes – to Textile Yarns”, *Fibre Chem.*, vol. 47, no. 5, pp. 343-347, 2016, doi: 10.1007/s10692-016-9691-8.
- [15] R. Zhang et al., “PET bottles recycling in China: An LCA coupled with LCC case study of blanket production made of waste PET bottles”, *J. Environ. Manage.*, vol. 260, 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.110062.
- [16] E. Grain, “3D Printing Fashion With Recycled Polyester: A Sustainable Journey”, presentada en la *IFFTI - BIFT 2016 International Conference*, Beijing, feb. 18, 2016, no. 2015.
- [17] S. Holmes, “Millinery marvel - poem transformed into hat for Royal Ascot using 3D printing”, *Develop3d.com*. develop3d.com/develop3d-blog/millinery-marvel-poem-transformed-into-hat-for-royal-ascot-using-3d-printin/ (consulta: mar. 9, 2021).
- [18] E. Grain, “A Design-driven approach to 3D printing textiles from recycled polyester”, presentada en la *International Biennial Making Futures Research Conference: Crafting a Sustainable Modernity - Towards a Maker Aesthetics of Production and Consumption*, Plymouth, Reino Unido, sept. 21, 2017, no. V.
- [19] S. Kim, H. Seong, Y. Her y J. Chun, “A study of the development and improvement of fashion products using a FDM type 3D printer”, *Fash. Text.*, vol. 6, no. 9, 2019, doi: 10.1186/s40691-018-0162-0.
- [20] K. Lussenburg, N. van der Velden, Z. Doubrovski, J. Geraedts y E. Karana, “Designing with 3D Printed Textiles: A case study of Material Driven Design”, en *iCAT 2014: Proceedings of the 5th International Conference on Additive Technologies*, Viena, Austria, oct. 16, 2014.
- [21] A. Bell, “2022 El Consumidor del Futuro”. WGSN Insight, p. 14, 2020.