



SCIENTIA
ET
TECHNICA

ISSN 0122-1781 - ISSN-E 2344-1214

La revista Scientia et Technica tiene inscripción vigente en la Sección de Registro de Propiedad Intelectual y Publicaciones del Ministerio de Gobierno de la República de Colombia, mediante Resolución 131 de marzo de 1995. Publicación aceptada en el Índice Nacional de Publicaciones Seriadas de Miscelánea, Publindex en categoría B hasta el 31 de diciembre de 2021. Publicación asociada a la Red de Revistas Científicas de América Latina y El Caribe, España y Portugal (Redalyc). Vinculados a DIALNET, Centro de Información Tecnológica CIT, EBSCO-Academic Search Complete.

VOL 30 N°4

OCTUBRE - DICIEMBRE DE 2025



Editor

Ph.D. Jimmy Alexander Cortes Osorio
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.

Editor Asociado

Ph.D. José Rodrigo González Granada
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.

Comité Técnico

Asistente editorial

Ing. María Camila Quintero Sánchez,
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.

Asesores Técnicos

MSc, Angela María Vivas Cuesta,
Sección de Desarrollo y Administración Web,
Recursos Informáticos y Educativos, CRIE,
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

Asesor de Diseño

Lic. Víctor Hugo Valencia, Centro de
Recursos Informáticos y Educativos, CRIE -
Sección Diseño, Universidad Tecnológica de
Pereira, Colombia

Sello Editorial UTP

Luis Miguel Vargas

Comité Editorial

Ph.D. César Aurelio Herreño Fierro
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Ph.D. Jhon Alexander Villada

Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial,
México

Ph.D. Cristian Camilo Villa Zabala

Universidad del Quindío, Colombia.

Ph.D. Agustín Lagunes Dominguez

Universidad Veracruzana, México

Ph.D. Mauricio Fernando Jaramillo Morales

Universidad Autónoma de Manizales, Colombia

Comité Científico

Ph.D. Nayeli Camacho Tapia

Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial,
México.

Ph.D. Juan Manuel González Carmona

Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial,
México.

Ph.D. Arles Victor Gil Rebaza

Instituto de Física La Plata IFLP - CONICET,
Argentina.

Ph.D. Isabel Cristina de Castro Monteiro

Universidad Estadual Paulista, Brasil.

Ph.D. Vera Ferro Lebres

Instituto Politécnico de Bragança, Portugal.

Ph.D. Juan Francisco Cabrera Ramos

Universidad Católica De Temuco, Chile.

Ph.D. Dimas Talavera Velázquez,

Universidad Autónoma de Querétaro, México.

Ph.D. Alfredo Campos Otero, Universidad

Tecnológica de Panamá, Panamá.

Ph.D. David Camilo Toquica Cardenas

Universidad de Québec en Trois-Rivières,
Canadá.



Facultad
de Ciencias
Básicas



SCIENTIA
ET
TECHNICA

ISSN 0122-1701 - ISSN-E 2344-7214

Revista Scientia et Technica

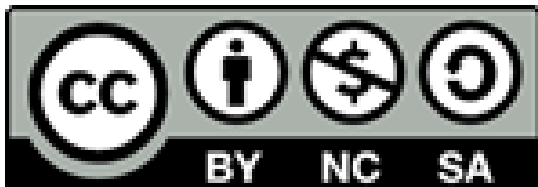
Vol. 30, Núm.01 (enero-marzo) de 2025

<https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/index>

Contacto: scientia@utp.edu.co

DOI: <https://doi.org/10.22517/issn.2344-7214>

ISSN Electrónico (2344-7214)



licencia Creative Commons Atribución/Reconocimiento-No
Comercial-Compartir bajo los mismos términos 4.0
Internacional — [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Pares evaluadores en este número

Jorge Ariel Guapacha Martinez
Raul Andres Becerra Arciniegas
Herbey Andres Milquez Sanabria
Aura Paola Andrea Ayala
Rafael Humberto Merlano Porto
Ruben Dario Hernandez Beleño
Favian Enrique Arenas Aparicio
Miguel Antonio Caro Candelazo
Christian Camilo Gomez Mosquera
Juan Pablo Gonzalez Galvis
Oscar Dario Guarín Villamizar
Javier Ernesto Holguin Gonzalez
Jenny Lucia Huertas Delgado

Contenido

Editorial

Más allá de la indexación en las revistas universitarias

Jimmy Alexander Cortes Osorio

DOI: <https://doi.org/10.22517/23447214.25944>

Páginas.....161-163

Industrial

Evaluación del ruido ocupacional al que están expuestos los trabajadores de una empresa metalmeccánica

Autores: Fabrizio Jeancloud Manrique Marquez, Tania Melanie Cutipa Apaza

DOI: <https://doi.org/10.22517/23447214.25643>

Páginas.....164-175

Sistemas y Computación

Análisis de transformación digital En empresas rurales del sector cafetero en el municipio de santa fe de antioquia

Autores: Jhon Jairo Alba Noriega, Andrea Cristina Martínez Ardila, Pedro Alberto Arias Quintero

DOI: <https://doi.org/10.22517/23447214.25829>

Páginas.....176-183

Soluciones de software en el contexto de la transformación digital

Autores: Jordan Alexis Paez Navarro, Andrea Cristina Martínez Ardila, Pedro Alberto Arias Quintero

DOI: <https://doi.org/10.22517/23447214.25829>

Páginas.....184-189

Ciencias Básicas

[RETIRADO] Diseño de una aplicación móvil como herramienta de apoyo para diligenciar la historia clínica UAN Sede Cúcuta.

Autores: Jimmy Alexander Cortes Osorio

DOI <https://doi.org/10.22517/23447214.25627>

Páginas.....190-194

Ciencias Ambientales

Aplicaciones de los compuestos de carbón activado e hidroxapatita en la remoción de iones metálicos en aguas contaminadas: una revisión bibliográfica

Autores: Natalia Alzate Acevedo, Manuela Soto Gonzalez, Elisabeth Restrepo Parra, María Valentina Suárez León, Nini Valentina Naranjo Castaño

DOI: <https://doi.org/10.22517/23447214.25389>

Páginas.....195-202

Editorial



Más allá de la indexación en las revistas universitarias.

Las revistas académicas universitarias atraviesan una crisis de criterios. Durante años, la indexación funcionó como indicador de prestigio: un listado o una categoría parecían resumir el valor de una revista. Ese modelo hoy muestra límites y ha producido posiciones contrapuestas entre autores y editores.

Una primera postura sostiene que “lo importante es estar publicado, no importa dónde”. Esta afirmación omite que publicar bajo revisión por pares rigurosa no equivale a hacerlo en espacios sin estándares editoriales ni criterios verificables de calidad; en esas condiciones, “estar publicado” pierde significado.

Una segunda postura rechaza políticas de indexación, por ejemplo, las asociadas a sistemas nacionales, con el argumento de que “limitan la publicación de trabajos propios” y “obligan a trabajar para otros”. Interpretar la publicación de autores externos como “trabajar para otros” reduce las revistas universitarias a clubes de autopublicación, cuando deberían operar como plataformas de diálogo científico con responsabilidad pública. La endogamia editorial debilita la conversación académica y empobrece el contraste entre instituciones.

Ambas posturas eluden el asunto central sobre la **confianza pública**. Una revista académica debe responder por la transparencia de sus procesos, la revisión por pares verificable, el cumplimiento de estándares técnicos, la preservación del conocimiento y la claridad de sus políticas editoriales.

En esa dirección, los *Principles of Transparency and Best Practice in Scholarly Publishing* (COPE, DOAJ, OASPA y WAME) establecen un marco de políticas explícitas sobre revisión por pares, gobernanza editorial, ética de publicación, licencias y preservación digital [1].

Lejos de ser requisitos meramente formales, constituyen pilares de protección institucional frente a la desinformación científica y frente a prácticas editoriales opacas.

De forma paralela, la evaluación de la investigación está cambiando. La Declaración DORA propone que la calidad no se infiera a partir de métricas basadas en la revista, sino que se valore el mérito intrínseco del contenido [2]. El *Leiden Manifesto* sintetiza diez principios para el uso responsable de indicadores, con atención a contextos disciplinares y regionales [3]. Si estos enfoques se consolidan, la indexación tenderá a recuperar su sentido: ser un medio para la descubribilidad y la integridad editorial, no un fin en sí mismo.

La ciencia abierta refuerza este giro. La Recomendación de la UNESCO sobre Ciencia Abierta promueve un marco internacional orientado a reducir brechas de conocimiento y ampliar el acceso [4]. Plan S impulsa el acceso abierto inmediato para publicaciones derivadas de investigación financiada por entidades adheridas, sin embargos [5]. En este contexto, el modelo diamante (sin cobros a autores ni a lectores) cobra relevancia: la UNESCO lo define como comunitario y no comercial, y el *Action Plan for Diamond Open Access* propone acciones para fortalecer estándares, capacidades y sostenibilidad del ecosistema [6], [7]. Infraestructuras cooperativas como Redalyc y AmeliCA se alinean con esa visión no comercial, con servicios e interoperabilidad al servicio de revistas y comunidades académicas [8].


Para revistas como *Scientia et Technica*, y en general para las revistas universitarias, las preguntas estratégicas que se vuelven concretas son ¿qué compromisos verificables asume el proyecto editorial?, ¿garantiza transparencia y trazabilidad en sus decisiones?, ¿mantiene robustez técnica en metadatos, preservación e interoperabilidad?, ¿opera con licencias claras y un esquema sostenible? La indexación futura será, cada vez más, evidencia de un proyecto editorial serio y auditable. No basta afirmar que “lo importante es publicar” ya que es necesario precisar con qué estándares, bajo qué políticas y con qué garantías verificables de calidad.

En coherencia con su misión universitaria, *Scientia et Technica* considera que los cargos a los autores deben mantenerse en el nivel más bajo posible, como lo ha sido hasta ahora en cero, y privilegia un modelo de acceso abierto que no excluya por razones económicas. Al mismo tiempo, reconoce que la visibilidad y la validación internacional siguen estando fuertemente asociadas a sistemas de indexación de alta exigencia como Scopus y Web of Science; por ello, sin abandonar su compromiso, la revista viene fortaleciendo sus prácticas editoriales, técnicas y de gestión con el propósito de alcanzar estas indexaciones y, posteriormente, sostenerlas de manera responsable.

Referencias.

- [1] COPE, DOAJ, OASPA, and WAME, “*Principles of Transparency and Best Practice in Scholarly Publishing* (Version 4, 2022).” [Online]. Available: <https://doi.org/10.24318/cope.2019.1.12>. [Accessed: Jan. 05, 2026].
- [2] DORA, “Read the Declaration.” [Online]. Available: <https://sfdora.org/read/>. [Accessed: Jan. 05, 2026].
- [3] D. Hicks, P. Wouters, L. Waltman, S. de Rijcke, and I. Rafols, “Bibliometrics: The Leiden Manifesto for research metrics,” *Nature*, vol. 520, no. 7548, pp. 429–431, Apr. 2015, doi: 10.1038/520429a.
- [4] UNESCO, “*UNESCO Recommendation on Open Science*.” [Online]. Available: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379949>. [Accessed: Jan. 05, 2026].
- [5] cOAlition S, “Principles and Implementation (Plan S).” [Online]. Available: <https://www.coalition-s.org/addendum-to-the-coalition-s-guidance-on-the-implementation-of-plan-s/principles-and-implementation/>. [Accessed: Jan. 05, 2026].
- [6] Z. Ancion *et al.*, “*Action Plan for Diamond Open Access*,” Zenodo, 2022, doi: 10.5281/zenodo.6282403.
- [7] UNESCO, “Diamond Open Access.” [Online]. Available: <https://www.unesco.org/en/diamond-open-access>. [Accessed: Jan. 05, 2026].
- [8] Redalyc & AmeliCA, “*An open infrastructure for advancing science as a global public good* (Information for contributors).” [Online]. Available: <https://www.enssib.fr/bibliotheque-numerique/documents/72028-redalyc-et-amelica.pdf>. [Accessed: Jan. 05, 2026].

Autores

PhD. Jimmy Alexander Cortes Osorio 
Docente Titular Departamento de Física
Editor jefe -Revista Scientia et Technica
Grupo Investigación Robótica Aplicada
Línea: Computer Vision and Machine Learning
Investigador Senior Reconocido por MINCIENCIA
Universidad Tecnológica de Pereira
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0413-807X>

Evaluación del ruido ocupacional al que están expuestos los trabajadores en una empresa metalmeccánica

Evaluation of occupational noise exposure of workers in a metalworking company.

F. Manrique-Márquez  ^{ROR}; T. Cutipa Apaza  ^{ROR}

DOI: <https://doi.org/10.22517/23447214.25643>
Scientific and technological research paper

Abstract— Applying the methodology NTP-ISO 9612-2010 which establishes standardized procedures to evaluate exposure to noise at work, on the other hand the WHO recommends maintaining noise around 65 dB in a work environment, the research is based on the evaluation of noise levels generated by various equipment used in the area of maestranza in a metalworking company, for the measurement stage noise measurements were made for 3 days in five areas of maestranza with 30 results which at 1 point the measurement showed that on average there was 0. For the control stage, a test of averages was performed using the values used with personal protective equipment and thus decreasing the noise level, which showed that the decrease in the point was significant, however the lack of proper management of these noise levels could lead to occupational diseases, whose long-term effects could cause an irreversible impact on the health of workers. Numerous authors have used normative calculations to gather data on occupational noise in different work areas.

Keywords: *maximum permissible limits; metalworking; occupational health; occupational noise.*

Resumen — Aplicando la metodología NTP-ISO 9612-2010 el cual establece procedimientos estandarizados para evaluar la exposición al ruido en el trabajo, por otro lado la OMS recomienda mantener ruido alrededor de 65 dB en un ambiente laboral, la investigación fundamenta en la evaluación de los niveles de ruido generados por diversos equipos utilizados en el área de maestranza en una empresa metalmeccánica, para la etapa de medición se realizaron las mediciones de ruido durante 3 días en cinco áreas de maestranza con 30 resultados los cuales en 1 punto la medición arrojó que en promedio hubo 0.5 puntos con nivel de ruido superior a lo permitido por la norma, para la etapa de control se realizó una prueba de medias utilizando los valores usados con equipos de protección personal así disminuyendo el nivel de ruido, la cual mostró que la disminución en el punto fue significativa, no obstante la falta de manejo adecuado de estos niveles de ruido podría dar lugar a enfermedades ocupacionales, cuyos efectos a largo plazo podrían causar un impacto irreversible en la salud de los trabajadores.

Este manuscrito fue recibido el 06 de Agosto, 2025. Fue aceptado el 06 de Marzo de, 2025 y publicado el 19 de Diciembre de 2025. Fabrizio M. Márquez es un estudiante ^{ROR} de la carrera profesional de Ingeniería de Seguridad Industrial y Minera de la Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa, Perú (e-mail: fjmanrique@gmail.com)

Tania C. Apaza es un estudiante de la carrera profesional de Ingeniería de Seguridad Industrial y Minera de la Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa, Perú ^{ROR} (e-mail: melcua.mt@gmail.com)

Numerosos autores han utilizado cálculos normativos para reunir datos sobre el ruido ocupacional en diferentes áreas laborales.

Palabras Clave: Límites máximos permisibles; metalmeccánica; ruido ocupacional; salud laboral.

I. INTRODUCCIÓN

Según la OMS recomienda mantener los niveles de ruido alrededor de 65 decibeles (dB) en un ambiente laboral. Sin embargo, en la industria metalmeccánica, donde el ruido suele ser alto, se deben seguir los estándares específicos.

En un estudio en China mostró que el 25% de 19,378 empresas superaron el límite nacional de 85 dB [1], superando el riesgo de pérdida auditiva crónica y aguda [1]. En Talara, se encontró una alta prevalencia de pérdida auditiva entre trabajadores metalmeccánicos, relacionada con su exposición al ruido [2].

En este contexto, el **objetivo general** de la investigación es evaluar el nivel de ruido al que están expuestos los trabajadores en el área de maestranza de una empresa metalmeccánica en Arequipa para determinar el nivel de riesgo de ruido, mientras que los **objetivos específicos** son en primer lugar, analizar el estado actual del área de trabajo, identificar a los afectados y las actividades realizadas, en segundo lugar se mide el nivel de ruido según la Norma Técnica Peruana NTP-ISO 9612-2010 y se determina el nivel de riesgo. Así mismo se hace uso del ANEXO-12 del Decreto Supremo 024-2016 EM, mismo que establece los niveles de ruido.

Por lo que esta investigación se fundamenta en la evaluación de los niveles de ruido generados por diversos equipos utilizados en el área de maestranza. La falta de un manejo adecuado de estos niveles de ruido podría dar lugar a enfermedades ocupacionales, cuyos efectos a largo plazo podrían causar un impacto irreversible en la salud de los trabajadores.



Muchos autores como Backes C. et al [2], Serv. P. et al [3] y Romero M. et al [4] coinciden en utilizar cálculos normativos para reunir datos sobre el ruido ocupacional en diferentes áreas laborales. Por ejemplo, en una empresa de Caçador se encontraron niveles de ruido altos en el operador de extrusión, y se propuso el uso de EPI para remediarlo [2]. En Madrid, se empleó la norma NE EN 352-1 para monitorear la salud de los trabajadores, respaldada por datos de la NTP 196 [3]. En Neiva, se detectaron excesos de ruido en el área de enchapado, aunque se mitigaron con el uso de EPI [4].

Además, Canales M. et al [5] y Lança B. et al [6] realizaron un análisis del riesgo auditivo utilizando la norma ISO 1999 en una industria mecánica y otra de procesos de alimentos. Posteriormente, aplicaron un método de absorción acústica y compararon con la NR-15, encontrando una reducción de 2 dB como resultado.

Otros investigadores como Cauca B. et al [7], Huaquisto S. et al [8] y Ancaya E. et al [9] también evaluaron el ruido de equipos según la Norma Técnica Peruana - ISO 9612-2010 y lo compararon con la Resolución Ministerial 375-2008-TR. Realizaron encuestas para evaluar el bienestar psicológico de los trabajadores expuestos al ruido. Además, Cuza T. [10] sugirió modificaciones en instalaciones, colocación de mamparas y revisiones médicas de audiometría.

Además, Oliveira G. et al [11] utilizó el método DIC junto con las normas previamente mencionadas [2], [3] y [4]. Encontraron que la velocidad del trabajo y el uso de un vibrómetro calibrado, junto con un dosímetro, mejoraron la precisión de los resultados y aumentaron el VCI. Concluyeron que los niveles de ruido eran aceptables y la velocidad del trabajo no influyó significativamente.

Tello C. et al [12], Flores C. et al [13], y Eudes C. et al [14] evaluaron el nivel de ruido en el sector minero. En la mina Zuruma en Ecuador, se superó el límite permitido por más de 17 dB debido al ruido de equipos perforadores. En la mina SERINGTELL en Perú, se encontró datos ligeramente por encima del límite en zonas específicas, y se recomendó capacitación y EPP adecuados. En la mina Casapalca, aunque el ruido no excedió el LMP en la mayoría de las actividades, se distribuyeron protectores auditivos según el nivel de ruido en cada zona [14].

Garro J. et al [15], González P. et al [16], Yévenes B. et al [17], y Romero R. et al [18] estudiaron el ruido en trabajadores de una planta textil, en un centro dental y en una planta de cemento. Se encontró que el ruido provenía principalmente de equipos textiles [15], en el centro dental se registraron niveles de 100 dB, y el 57.9% de los odontólogos estaban expuestos a este nivel [17], mientras que, en la planta de cemento, niveles superiores a 85 dB se relacionaron con pérdida auditiva con un 95% de confianza [18].

Lo mismo sucede con Simbaña C. et al [19], Simbaña C. et

al [20], y Morales P. et al [21] evaluaron el ruido utilizando la norma NTP-951 para medir el ruido del motor del equipo con un sonómetro a 1.5 m de distancia. En Tarapoto, encontraron 86 dB durante 4 horas de trabajo, comparando con la Resolución Ministerial 375-2008 [19]. En otro estudio, hallaron niveles de 87.9 dB y 91.9 dB en diferentes equipos, sugiriendo audiometrías para el personal expuesto [20]. En la empresa de calzados Sathiri, identificaron que el 7% de los puestos superaban los 85 dB, relacionados con la sensibilidad auditiva [21].

Por otro lado, Caporale A. et al [22] advierten que los entornos laborales ruidosos incrementan el riesgo de accidentes graves y reducen la comprensión de las instrucciones. Halim I. et al [23] investigaron la reducción del ruido en la industria manufacturera mediante un prototipo aislante, aunque señalan que se necesitan más pruebas para optimizar su rendimiento.

Además, Stokholm Z. et al [24] desarrollaron una matriz para evaluar la exposición ocupacional al ruido en diversas industrias. Sus hallazgos respaldan los resultados de Arezes P. et al [25], quienes utilizaron sonómetros y dosímetros para evaluar la exposición al ruido en la industria. Ambos estudios resaltan la importancia de evaluar con precisión los niveles de ruido en el entorno laboral.

Al mismo tiempo el estudio de Gómez J. [26] analiza los efectos psicológicos y económicos del ruido, destacando una alta correlación entre el ruido y el estrés. Coca G. et al [27] proporcionan información sobre la evaluación del desempeño ambiental y social en relación con el ruido en entornos organizacionales, resaltando la importancia de implementar acciones protectoras para el bienestar de los empleados.

Campos Y. et al [28] se enfocan en desarrollar un procedimiento de gestión del ruido en empresas productivas, enfatizando la necesidad de acciones preventivas y de control. Por otro lado, Carrillo M. et al [29] emplean la metodología DMAIC de Six Sigma para reducir el ruido en un proceso metalmeccánico, logrando una disminución en los niveles de ruido tras implementar mejoras.

En relación con ello, Zheng J. et al [1] realizaron un estudio de vigilancia sobre la exposición al ruido en la industria manufacturera China. Por otro lado, Diaz A. et al [30] examinaron la frecuencia de pérdida de audición en trabajadores expuestos a niveles de ruido en diferentes áreas laborales. Zheng J. et al [1] encontraron que las pequeñas y microempresas tenían una mayor probabilidad de estar expuestas a niveles altos de ruido, mientras que Diaz A. et al [30] se centraron en detectar hipoacusia en trabajadores expuestos a niveles de ruido superiores a 85 decibelios (A), resaltando la importancia de invertir en medidas de prevención y control del ruido para proteger la salud auditiva de los trabajadores en la industria manufacturera.

De igual manera los estudios de Kabe I. et al [31] y Zamorano

B. et al [32] resaltan la importancia de evaluar y proteger la audición de trabajadores expuestos al ruido en entornos laborales. Kabe I. et al [31] investigaron los efectos del ruido en la audición mediante mediciones y pruebas auditivas, mientras que Zamorano B. et al [32] identificaron la pérdida auditiva en trabajadores de una empresa metalmeccánica mediante audiometrías y monitoreo de niveles de ruido. Ambos estudios enfatizan la necesidad de medidas preventivas y de protección auditiva para preservar la salud auditiva de los empleados.

En función de esto, Cerro S. et al [33] hallaron una correlación positiva entre la edad, historial laboral y pérdida auditiva, sugiriendo mayor riesgo de hipoacusia en trabajadores expuestos al ruido. Severiche C. et al [34] indicaron que la exposición laboral al ruido puede causar pérdida auditiva permanente. Ambos estudios enfatizan la importancia de prevenir y controlar el ruido en el trabajo. Sun K. et al [35] y Boger M. et al [36] destacan la necesidad de programas de conservación auditiva con medidas preventivas y de protección.

Con respecto a lo anterior, Montenegro A. et al [37] investigaron la reducción de la exposición al ruido y la pérdida auditiva en trabajadores varones mediante materiales absorbentes acústicos, logrando reducciones de hasta 2 dB en algunos puestos. Cortez M. et al [38] realizaron mediciones de ruido en una microempresa del sector productivo, encontrando niveles que superan los límites permitidos. Estos hallazgos resaltan la importancia de implementar medidas de control del ruido para proteger la salud auditiva de los trabajadores y cumplir con los estándares de seguridad laboral.

En adición a esto, Fajardo A. et al [39] encontraron que algunos trabajadores no perciben el ruido como peligroso, resaltando la necesidad de mejorar la educación sobre este riesgo. Por otro lado, Gómez M. et al [40] indica que la exposición crónica al ruido laboral puede causar pérdida auditiva en los trabajadores, sin evaluar la efectividad de los programas de protección contra el ruido. Ambos estudios resaltan la importancia de concienciar sobre los riesgos del ruido en el entorno laboral.

Por lo antes mencionado la presente investigación indicara las distintas teorías para plantear las ideas recolectadas en el desarrollo del trabajo investigado.

Este proceso de investigación considera:

- METODO DE INGENIERIA NTP-ISO 9612-2010 [41].
- D. S. 024-2016-EM (ANEXO 12) [42].

En primer lugar, el **Método de Ingeniería** establecido en NTP-ISO 9612-2010 establece procedimientos estandarizados para evaluar la exposición al ruido en el trabajo, adaptando la norma ISO 9612 a las necesidades específicas del Perú. Este método refleja avances científicos y tecnológicos en salud

laboral.

De igual manera el Método **RAP-ONE** es una aplicación fácil de usar que analiza y administra el sonido en diversos entornos, diseñada para consultores acústicos, ingenieros e higienistas industriales [43].

De la misma forma el Método **PREXOR** (Protocolo de Exposición Ocupacional a Ruido) se utiliza para proteger a los trabajadores de la hipoacusia causada por el ruido [44].

En cuanto al **ruido**, este puede ser generado por equipos o máquinas en el trabajo, siendo continuo o intermitente, y es indeseable para el receptor [45]. La exposición prolongada puede causar pérdida de audición [46], mientras que aquellos que están expuestos a un ruido elevado por más de 8 horas están propensos a desarrollar tinnitus [47], a esto se suma el **nivel de ruido** se mide en decibelios (dB), variando entre 0 y 120, con daños irreversibles a 120 dB [48]. Para determinar la dosis de ruido en el trabajo, se utiliza el ruido continuo es expresado en NPSeq, considerando la exposición y el tiempo [49], además del **tiempo ponderado**, que se calcula promediando los valores de ruido en ciclos de trabajo [50].

Respecto a las **frecuencias** se expresan en Hz o kHz para analizar su rango, dividido en secciones de octavas de 10 Hz a 10 kHz con equipos de medición adecuados [51]. El umbral de percepción del ruido varía entre individuos y depende del tiempo de exposición al estímulo sonoro [52].

En cuanto al **monitoreo de ruido** en los trabajos se realiza por ciclos de trabajo durante la jornada laboral, generando valores y acumulando datos que se procesan en computadoras [53], se utiliza un sonómetro para recolectar información por áreas de estudio específicas [54], sumado a esto el efecto del ruido en la salud incluye consecuencias a corto y largo plazo, como hipoacusia, irritabilidad y tinnitus, dependiendo del tiempo de exposición en los puestos de trabajo [55].

En cuanto a los **límites máximos permisibles**, la normativa indica que para una jornada de trabajo de 8h solo está permitido 85dB [56].

Por otro lado, el **control de ruido en una maestranza** implica aplicar medidas de reducción que consideren el desgaste del equipo, ya que el ruido emitido puede cambiar con el tiempo en el área de trabajo [57]. Además, el uso de una matriz **IDENTIFICACION DE PELIGROS EVALUACION DE RIESGOS Y CONTROL (IPERC)** permite gestionar los riesgos asociados al ruido laboral por área de trabajo y tomar medidas preventivas siguiendo una jerarquía de control [58].

A esto se suma la **gestión de riesgo** la cual sirve, para gestionar y analizar la higiene ocupacional, se trata de buscar la generación de los factores o agentes que se encuentran en el área laboral con el fin de poder minimizar los efectos que esta causa [59], por lo que se puede hacer uso de:

- Herramienta de medición (sonómetro)
- Cuestionario de percepción de ruido por el trabajador (de ser necesario)

En cuanto a los **equipos de medición**, para la evaluación, considerando el caso a medir estos pueden ser los sonómetros para evaluar el ruido de equipos, y el dosímetro para monitorear el ruido al que está expuesto el trabajador [60].

De la misma forma en cuanto a la **normativa y regulaciones** recomiendan utilizar guías para evaluar el ruido laboral y prevenir los posibles daños al trabajador, asegurando el cumplimiento de las indicaciones específicas en los exámenes ocupacionales [61].

De manera similar las **medidas preventivas** deben buscar la reducción del ruido, pero también el confort y calidad del trabajo, además se debe de considerar la jerarquía de controles al momento de brindar tales medidas, considerando que el encapsular los equipos con cabina de insonorización es lo más apto para controlar el ruido, debido a que puede llegar a reducir el ruido hasta 16dB [62].

Junto con esto la utilización de EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP) consta de una evaluación previa del ruido presente, considerando el nivel de presión presente al momento de colocarse los protectores auditivos, esto debido a que los protectores brindan una atenuación del ruido de 9.4 dB para una frecuencia de 63Hz, pero también se puede usar el método HML o SNR para saber cuánto es la reducción del ruido solo para el trabajador[63], del mismo modo la educación y capacitación en campañas educativas sobre sobre el ruido laboral ayuda concientizar al trabajador a que use los epps antes de trabajar y poder brindar información sobre las distintas consecuencias que este puede ocasionar largo plazo [64].

Por lo que, en el contexto peruano, si bien existen regulaciones y estándares nacionales que establecen límites de exposición al ruido y requisitos de seguridad laboral, como la Ley N.º 29783 y el Decreto Supremo. N.º 024-2016-EM, la implementación y cumplimiento total de estas normativas pueden ser desafiantes para algunas empresas de la industria metal mecánica, por lo tanto, es crucial conocer ¿Cuál es el nivel de ruido al que están expuestos los trabajadores en el área de trabajo de maestranza en una empresa de metalmeccánica?

II. METODOLOGIA

Esta es una investigación aplicada de enfoque cuantitativo, dado que se aplica la recopilación de datos, el cual tiene por alcance de naturaleza descriptiva, debido a que se detallan los niveles de ruido, de la misma forma es de carácter no experimental debido a que no se manipulan variables y tiene un diseño transversal dado que se realiza la recolección de datos en un determinado tiempo (03 días).

El estudio se realizó en la industria metalmeccánica con niveles de ruido altos. La población de estudio es por conveniencia, compuesta por 30 trabajadores comprendidos entre los 25 y 55 años que cuentan con protectores auditivos, todos varones y con no menos de 01 año de experiencia en el sector.

Siguiendo el primer objetivo específico se verifico la distribución de áreas de trabajo, encontrando: área de soldadura, área de mecanizado, área de operación en tornos, área de operación en fresadoras, área de corte y doblado para conocer los tipos de trabajo que se desarrolla.

Continuando con el segundo objetivo específico se utiliza la ESTRATEGIA 1 MEDICION BASADA EN LA TAREA de la metodología NTP-ISO 9612-2010 para determinar la exposición al ruido laboral, así mismo se divide la tarea en actividades para poder realizar las mediciones haciendo uso de un sonómetro marca Larson Davis LxT1 clase 1 según norma IEC 6162-1:2002 ya calibrado para obtener los decibeles que se generan en el lugar de trabajo.

Por lo que se procedió a utilizar el sonómetro apuntando al canal auditivo del trabajador entre 10 y 30 centímetros por un lapso de 5 minutos para todas las mediciones y posteriormente obtener los datos que son los decibeles (dB), los que serán tratados con las fórmulas de nivel de ruido y dosis de ruido, las mismas que se encuentran en la NTP-ISO 9612-2010.

Los datos procesados mediante las fórmulas dieron un único resultado, el cual será comparado posteriormente con el ANEXO-12 del Decreto Supremo 024-2016 EM que regula el tiempo de exposición máxima para ruido en una jornada laboral.

De este modo, después de realizar el monitoreo de ruido, se obtienen las siguientes mediciones para las diferentes áreas de trabajo:

- 1. AREA DE MECANIZADO:** Proceso donde se realiza trabajos con esmeriles en trabajos de corte y desbaste de metales, además de trabajos con taladros cuales se utilizan para perforar agujeros cilíndricos precisos en laminas o planchas de metal.

TABLA II
EXPOSICIÓN A RUIDO EN EL ÁREA

JORNADA DE 5 HORAS (TAREA 1)		
TRABAJADOR	JORNADA DE 5 HORAS (TAREA 1)	NIVEL DE RUIDO dB (A)
T-1	1.4 HH o 100 min	88
T-2	1.4 HH o 100 min	85
T-3	1.4 HH o 100 min	90
JORNADA DE 3 HORAS (TAREA 2)		
TRABAJADOR	JORNADA DE 3 HORAS (TAREA 2)	NIVEL DE RUIDO dB (A)
T-4	1 HH o 60 min	88
T-5	1 HH o 60 min	89
T-6	1 HH o 60 min	86

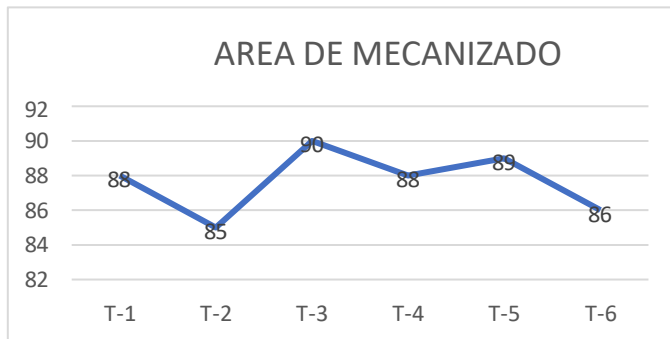


Gráfico N°1 Área de mecanizado

Los niveles de ruido para la Tarea 1 y Tarea 2 indican que el nivel de ruido pico durante la ejecución de estas tareas varían ligeramente. El valor más alto (90 dB) sugiere que hay momentos en que el ruido alcanza niveles que pueden ser perjudiciales para la salud auditiva.

- 2. AREA DE SOLDADURA:** Proceso por el cual se realiza la unión permanente entre materiales y metales compuestos a través de una alta temperatura.

TABLA II
EXPOSICIÓN A RUIDO EN ÁREA

JORNADA DE 5 HORAS (TAREA 1)		
TRABAJADOR	JORNADA DE 5 HORAS (TAREA 1)	NIVEL DE RUIDO dB (A)
T-7	1.4 HH o 100 min	75
T-8	1.4 HH o 100 min	70
T-9	1.4 HH o 100 min	77
JORNADA DE 3 HORAS (TAREA 2)		
TRABAJADOR	JORNADA DE 3 HORAS (TAREA 2)	NIVEL DE RUIDO dB (A)
T-10	1 HH o 60 min	85
T-11	1 HH o 60 min	87
T-12	1 HH o 60 min	90

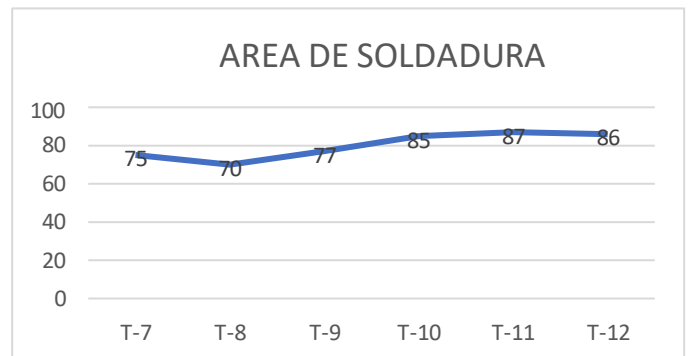


Gráfico N°2 Resultado de mediciones

Los niveles de ruido monitoreados en la Tarea 1 fueron moderados mientras que para la Tarea 2 fueron más altos debido a que utilizaron soldadura oxiacetilénica

3. **AREA DE OPERACIÓN DE TORNO:** Proceso que por mediante la rotación y corte de una pieza de metal se obtienen componentes de precisión con formas cilíndricas y diversas configuraciones geométricas.

Tabla N°3 Exposición a ruido en el área

TRABAJADOR	JORNADA DE 5 HORAS (TAREA 1)	NIVEL DE RUIDO dB (A)
T-13	1.4 HH o 100 min	78
T-14	1.4 HH o 100 min	71
T-15	1.4 HH o 100 min	87
TRABAJADOR	JORNADA DE 3 HORAS (TAREA 2)	NIVEL DE RUIDO dB (A)
T-16	1 HH o 60 min	88
T-17	1 HH o 60 min	77
T-18	1 HH o 60 min	89

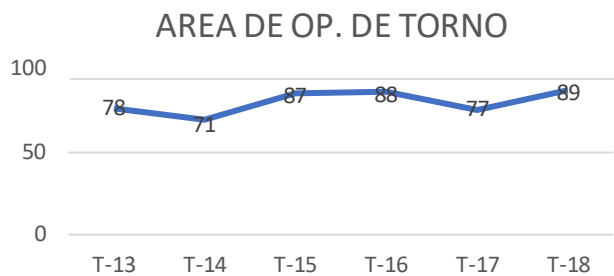


Gráfico N°3 Resultado de mediciones

En el área de operación de tornos, la tarea 2 tiene picos de ruido más altos que la tarea 1 debido a factores como la velocidad de corte y materiales más duros

4. **AREA DE FRESADORAS:** Proceso rotativo de corte metálico por el cual se obtienen componentes metálicos con superficies precisas y complejas

Tabla N°4 Exposición a ruido en el área

TRABAJADOR	JORNADA DE 5 HORAS	NIVEL DE RUIDO dB (A)
T-19	1.4 HH o 100 min	69
T-20	1.4 HH o 100 min	72
T-21	1.4 HH o 100 min	78
TRABAJADOR	JORNADA DE 3 HORAS	NIVEL DE RUIDO dB (A)
T-22	1 HH o 60 min	87
T-23	1 HH o 60 min	89
T-24	1 HH o 60 min	87

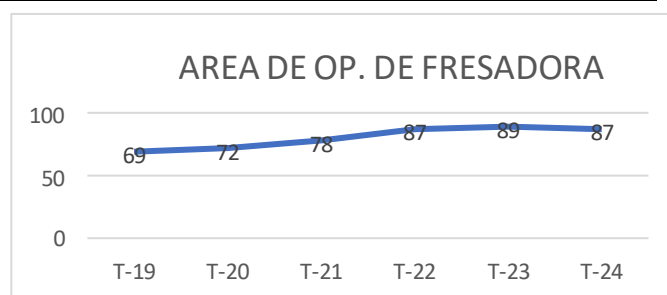


Gráfico N°4 Resultado de mediciones

En esta área se encontraron valores moderados para la Tarea 1 mientras que para la Tarea 2 fueron más altos debido al tipo de velocidad y materiales utilizados.

5. **AREA DE CORTE Y DOBLADO:** Proceso por el cual se modifican planchas y laminas metálicas para crear piezas y estructuras específicas.

Tabla N°5 Exposición a ruido en el área

TRABAJADOR	JORNADA DE 5 HORAS	NIVEL DE RUIDO dB (A)
T-25	1.4 HH o 100 min	77
T-26	1.4 HH o 100 min	68
T-27	1.4 HH o 100 min	89
TRABAJADOR	JORNADA DE 3 HORAS	NIVEL DE RUIDO dB (A)
T-28	1 HH o 60 min	90
T-29	1 HH o 60 min	87
T-30	1 HH o 60 min	67

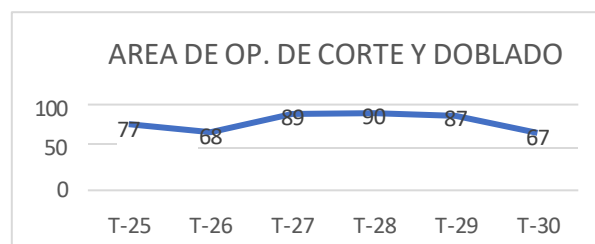


Gráfico N°5 Resultado de mediciones

Las mediciones de ruido para la tarea de corte y doblado oscilan entre 67 y 90 decibeles en valores pico, debido a que el corte de piezas metálicas involucra operaciones más ruidosas.

De acuerdo con la **ESTRATEGIA N°1 BASADA EN LA TAREA de la NTP-ISO 9612-2010** se identificó las tareas que realiza el trabajador y luego una división por actividades, seguidamente se utiliza el sonómetro clase 1 debidamente calibrado para monitorear el ruido de cada actividad, el sonómetro tiene un micrófono el cual debe estar a una distancia de entre 10 a 30 centímetros del canal auditivo del trabajador por 5 minutos, luego se registraron los más altos decibeles y se procede a realizar los cálculos del nivel de ruido equivalente y la dosis de ruido mediante 02 formulas establecidas en la **NTP-ISO 9612-2010**.

A continuación, se procede con el procesamiento de los datos de las áreas monitoreadas.

$$(L_{p,e}) = 10lg \left(\sum_{n=1}^N 10^{0,1*L_{p,A,eqT,n}} \right) dB (A) \quad (1)$$

Formula N°1: para obtener el ruido equivalente

$$L_{EX,8h,m} = L_{p,A,eqT,m} + 10lg \left(\frac{1}{T_o} \right) dB (A) \quad (2)$$

Formula N°2: para obtener la dosis de ruido

• AREA DE MECANIZADO

$$10lg \left(\frac{1}{3} * (10^{0,1*72} + 10^{0,1*70} + 10^{0,1*78}) \right) 74.72 dB (A) \quad (3)$$

Ruido equivalente para actividad N°1

$$10lg \left(\frac{1}{3} * (10^{0,1*88} + 10^{0,1*89} + 10^{0,1*86}) \right) 87.84 dB (A) \quad (4)$$

Ruido equivalente para actividad N°2

$$74.72 + 10 \log \left(\frac{5}{8} \right) = 72.68 dB (A) \quad (5)$$

Dosis de ruido para actividad N°1

$$87.84 + 10 \log \left(\frac{3}{8} \right) = 85.80 dB (A) \quad (6)$$

$$10lg \left(\frac{1}{2} * \left(10^{0,1*72.68} + 10^{0,1*85.80} \right) \right) 83 db (A) \quad (7)$$

Nivel de ruido equivalente para el **AREA DE MECANIZADO**

• AREA DE SOLDADURA

$$10lg \left(\frac{1}{3} * (10^{0,1*75} + 10^{0,1*70} + 10^{0,1*77}) \right) 74.98 dB (A) \quad (8)$$

Ruido equivalente para actividad N°1

$$10lg \left(\frac{1}{3} * (10^{0,1*85} + 10^{0,1*87} + 10^{0,1*90}) \right) 87.82 dB (A) \quad (9)$$

$$\text{Ruido equivalente para actividad N°2} \\ 74.98 + 10 \log \left(\frac{5}{8} \right) = 72.90 dB (A) \quad (10)$$

$$\text{Dosis de ruido para actividad N°1} \\ 87.82 + 10 \log \left(\frac{3}{8} \right) = 83.60 dB (A) \quad (11)$$

$$\text{Dosis de ruido para actividad N°2} \\ 10lg \left(\frac{1}{2} * (10^{0,1*72.90} + 10^{0,1*83.60}) \right) 80.94 dB (A) \quad (12)$$

Nivel de ruido equivalente para el **AREA DE SOLDADURA**

• OPERACIÓN DE TORNOS

$$10lg \left(\frac{1}{3} * (10^{0,1*78} + 10^{0,1*71} + 10^{0,1*87}) \right) 82.83 dB (A) \quad (13)$$

Ruido equivalente para actividad N°1

$$10lg \left(\frac{1}{3} * (10^{0,1*88} + 10^{0,1*77} + 10^{0,1*89}) \right) 86.92 dB (A) \quad (14)$$

Ruido equivalente para actividad N°2

$$82.23 + 10 \log \left(\frac{5}{8} \right) = 82.00 dB (A) \quad (15)$$

Dosis de ruido para actividad N°1

$$86.92 + 10 \log \left(\frac{3}{8} \right) = 86.50 dB (A) \quad (16)$$

Dosis de ruido para actividad N°2

$$10lg \left(\frac{1}{2} * \left(10^{0,1*82.00} + 10^{0,1*86.50} \right) \right) 84.92 dB (A) \quad (17)$$

Nivel de ruido equivalente para **OPERACIÓN DE TORNOS**

• OPERACIÓN DE FRESADORAS

$$10lg \left(\frac{1}{3} * (10^{0,1*69} + 10^{0,1*72} + 10^{0,1*78}) \right) 74.62 dB (A) \quad (18)$$

Ruido equivalente para actividad N°1

$$10lg \left(\frac{1}{3} * \left(10^{0,1*87} + 10^{0,1*89} + 10^{0,1*87} \right) \right) 87.77 dB (A) \quad (19)$$

Ruido equivalente para actividad N°2

$$74.62 + 10 \log \left(\frac{5}{8} \right) = 74.20 dB (A) \quad (20)$$

Dosis de ruido para actividad N°1

$$87.77 + 10 \log \left(\frac{3}{8} \right) = 87.30 dB (A) \quad (21)$$

Dosis de ruido para actividad N°2

$$10lg \left(\frac{1}{2} * (10^{0,1*74.20} + 10^{0,1*87.30}) \right) 84.50 dB (A) \quad (22)$$

Nivel de ruido equivalente para el **AREA DE FRESADORA**

• CORTE Y DOBLADO

$$10lg \left(\frac{1}{3} * (10^{0,1*77} + 10^{0,1*68} + 10^{0,1*89}) \right) 84.53 dB (A) \quad (23)$$

Ruido equivalente para actividad N°1

$$10lg \left(\frac{1}{3} * (10^{0,1*90} + 10^{0,1*87} + 10^{0,1*67}) \right) 87 dB (A) \quad (24)$$

Ruido equivalente para actividad N°2

$$84.53 + 10 \log \left(\frac{5}{8} \right) = 84.10 dB (A) \quad (25)$$

Dosis de ruido para actividad N°1

$$87.00 + 10 \log \left(\frac{3}{8} \right) = 86.60 dB (A) \quad (26)$$

Dosis de ruido para actividad N°2

$$10 \lg \left(\frac{1}{2} * (10^{0,1+84,10} + 10^{0,1+86,60}) \right) \mathbf{85.5 \text{ dB (A)}} \quad (27)$$

Nivel de ruido equivalente para **CORTE Y DOBLADO**

Por lo que mediante los datos obtenidos se procede a determinar el nivel de riesgo auditivo para los trabajadores de la empresa metalmecánica siguiendo recomendaciones de OSHA, ISO 199:2013 y NIOSH como guía, los mismos que tienen las siguientes clasificaciones para niveles de ruido en decibeles (dB) tipo A:

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION (OSHA)

- **85 dB(A) y más:** Protección auditiva requerida.
- **90 dB(A):** Límite de exposición permisible para una jornada de 8 horas.
- **95 dB(A):** Requiere reducción del tiempo de exposición.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH)

- **85 dB(A):** Límite recomendado para una jornada de 8 horas; se debe utilizar protección auditiva.

ISO 1999-2013 ACOUSTICS ESTIMATION OF NOISE INDUCED HEARING LOSS

- **80-85 dB(A):** Vigilancia y posible protección auditiva.
- **85-90 dB(A):** Protección auditiva requerida.
- **90-95 dB(A):** Protección auditiva y medidas de control de ruido necesarias.
- **>95 dB(A):** Protección auditiva estricta y reducción urgente del ruido.

Con base en los niveles de exposición medidos, podemos clasificar los niveles de riesgo de la siguiente manera:

Tabla N°6 Nivel de Riesgo

NIVELES DE RUIDO (DB)	CLASIFICACIÓN DE NIVEL DE RIESGO	MEDIDAS RECOMENDADAS
80-85	Riesgo moderado	Monitoreo regular, protección auditiva opcional
85-90	Riesgo alto	Protección auditiva requerida, evaluación regular
90-95	Riesgo grave	Protección auditiva obligatoria, control de ruido

>95	Riesgo Critico	Protección estricta, reducción urgente del ruido
-----	----------------	--

Tabla N° 7 Aplicación a los niveles de ruido medidos

AREA	NIVEL DE RUIDO (dB)	CLASIFICACION DEL RIESGO
Área de mecanizado	83.0	Riesgo moderado
Área de soldadura	80.94	Riesgo moderado
Área de tornos	84.94	Riesgo moderado
Área de fresadoras	84.5	Riesgo moderado
Área de corte y doblado	85.5	Riesgo alto

Basado en los niveles de exposición al ruido medidos y utilizando la matriz de riesgo derivada de normativas internacionales, se ha clasificado el nivel de riesgo de las áreas evaluadas.

III. RESULTADOS

Este estudio evaluó los niveles de ruido a los que están expuestos los trabajadores del área de maestría en una empresa metalmecánica utilizando la Estrategia 1 de la norma ISO 9612-2010. Se empleó un sonómetro Larson LXT1 con un valor de incertidumbre ± 1 , posicionado a una distancia de 10 a 30 centímetros del canal auditivo, conforme a las directrices establecidas.

Los niveles de ruido obtenidos, procesados según las fórmulas de la ISO 9612-2010, fueron los siguientes:

Tabla N°8 Niveles de ruido monitoreados

Área de mecanizado	83.0
Área de soldadura	80.94
Área de tornos	84.94
Área de fresadoras	84.5
Área de corte y doblado	85.5

Así mismo el 50% de estas mediciones cumplen con el criterio del ANEXO 12 del Decreto Supremo N°024-2016-EM Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, mientras que el 46.67% sobrepasa la exposición máxima y solo el 3.33% se mantiene en los 85Db.

Tabla N°9 Niveles de ruido de ANEXO 12

PONDERACION	EXPOSICION MAXIMA
-------------	-------------------

	LABORAL
82 dB	16 horas/día
83 dB	12 horas/día
85 dB	8 horas/día
88 dB	4 horas/día
91 dB	1 ½ horas/día
94 dB	1 horas/día
97 dB	½ horas/día
100 dB	¼ horas/día

IV. DISCUSION

El promedio de nivel de ruido asociado al área de maestranza en el presente estudio, en uno de los resultados supera los 85 dB, por lo que debido al valor de incertidumbre +1 o -1 que tiene el sonómetro se puede argumentar que no se supera los límites máximos permisibles en cuanto a ruido según lo establecido en el anexo 12 del Decreto Supremo 024-2016-EM,

Cabe resaltar que la toma de muestras de ruido en los trabajadores, estos llevan puestos protección auditiva, tales como protector endoaural y protector de tipo copa, donde los protectores endoaurales tienen un nivel de reducción de ruido (NRR) de 25 y los protectores auditivos tipo copa en 23,

Por lo que si a eso se le suma el cálculo DE NIVEL DE REDUCCIÓN DE RUIDO (NRR) para los protectores auditivos de acuerdo con la norma ANSI S12.6-2008 mediante la siguiente formula:

NPS (dBA): Nivel de presión sonora en decibeles

NRR: Nivel de reducción de ruido

η: Rendimiento de protector auditivo

Nef: Nivel de efectividad

- Tipo copa: 0.75
- Tipo endoaural: 0.50

Ecuación para el cálculo de reducción de NRR

$$Nef = (dBA) - (NRR - 7dBA) \times \eta$$

En lo cual para representación de ejemplo para el área de soldadura la ecuación sería de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} Nef &= (dBA) - (NRR - 7dBA) \times \eta \\ Nef &= 90 \text{ dBA} - (25 \text{ dB} - 7 \text{ dBA}) \times 0.5 \\ Nef &= 90 \text{ dBA} - 18 \text{ dB} \times 0.5 \\ Nef &= 90 \text{ dBA} - 9 \\ Nef &= \mathbf{81 \text{ dBA}} \end{aligned}$$

Esto significa que dichos niveles de ruido no exceden el **LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (LMP)** de 85 decibeles (dB) para una jornada laboral de 8 horas, sin embargo, Diaz, Ramírez y Lara mencionan específicamente que en el área de máquinas y herramientas existe un alto índice de ruido.

Adicionalmente Boger, Sampaio y Pires de Oliveira resaltan que el daño auditivo por ruido son quejas comunes mientras estén expuestos a altos niveles de ruido.

Finalmente, Zheng, Zhang, Wang, Yu y Hu mencionan que el ruido es una de las principales amenazas ocupacionales en las empresas de metalmecánica en China y a nivel mundial, además se resalta que los niveles de exposición a ruido son iguales o superiores a 85 dB (A) en empresas de fabricación de productos de metal

V. CONCLUSION

Se concluye que habiendo analizado las áreas de trabajo se obtiene que el nivel de ruido esta subdividido en 5 áreas de trabajo medido en dB seguidamente aplicando la norma técnica NTP-ISO 9612-2010 por lo que en las 4 áreas de trabajo se determina que el nivel de riesgo es bajo mientras que en una área de trabajo excede en un 0.5 dB por lo que el nivel de confianza aplicado es +-1 no supera los límites máximos permisibles que estipula la norma, el nivel de ruido que se a podido valorar es menos a 85db.

VI. REFERENCIAS

- [1] J. Zheng, S. Zhang, H. Wang, Y. Yu, and W. Hu, "Surveillance of Noise Exposure Level in the Manufacturing Industry-China, 2020," 2020.
- [2] R. Campos and J. Backes, "Avaliação e caracterização de insalubridade pro exposição á ruído de um trabalhador de uma empresa de recuperação de plástico pead do município de Caçador/SC," *Scire Salutis*, vol. 12, no. 2, 2022, doi: 10.6008/cbpc2236-9600.2022.002.0040.
- [3] Consejo Superior de Investigación Científica, "Exposición Laboral al Ruido," *Servicio de Prevención y Salud Laboral de Madrid*, 2022.
- [4] I. Romero Méndez, D. Serrato Rojas, R. D. Bernal Medina, and J. Cabrera Urriago, "Evaluación de la exposición ocupacional a ruido en microempresas de madera de la ciudad de Neiva en el 2019," *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 12, no. 1, pp. 153–163, 2020, doi: 10.22490/21456453.3660.
- [5] A. E. Canales Montenegro, A. M. Campos Pérez, and J. L. Cárdenas Bergmann, "Modelamiento Predictivo de la Pérdida Auditiva Laboral, Relacionada con el Tratamiento de Absorción Acústica en una Industria Metal-Mecánica en Chile," *Ciencia & trabajo*, vol. 18, no. 56, pp. 73–80, 2019, doi: 10.4067/s0718-24492016000200001.
- [6] B. Lança and D. Rodolpho, "ANÁLISE DE EXPOSIÇÃO AO RÚIDO OCUPACIONAL EM INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA," *Revista Interface Tecnológica*, vol. 19, no. 1, pp. 434–446, 2022, doi: 10.31510/inf.v19i1.1405.
- [7] B. Cauca, L. Katerine, and A. Loaiza, "Efectos de la exposición al ruido en los mecánicos del taller

- Serviautos de Guadalajara de Buga-Valle del Cauca, año 2021,” pp. 1–73, 2021.
- [8] S. Huaquisto Cáceres¹ and I. G. Chambilla Flores, “Estudio Del Ruido Generado Por La Maquinaria De Construcción En Infraestructura Vial Urbana,” *Investigacion & Desarrollo*, vol. 21, no. 1, pp. 87–97, 2021, doi: 10.23881/idupbo.021.1-7i.
- [9] E. Ancaya and R. Palomino, “Evaluación acústica y su consecuencia en la salud de los trabajadores de J&F Metalmecánica E.I.R.L.,” *Universidad César Vallejo*, pp. 1–73, 2020.
- [10] A. Cuza and F. Suárez, “Ruido y Salud: Intervenciones de Enfermería en la Unidad de Cuidados Intensivos.,” *Gaceta Medica Estudiantil*, vol. 4 (1), no. 2708–5546, pp. 1–13, 2023.
- [11] G. Júnior, I. de A. da Cunha, J. A. R. da Silva, L. D. Ramirio, A. B. da Silva, and F. F. Putti, “Vibração e ruído no posto de operação de um trator cafeeiro acoplado a um turbo pulverizador sob diferentes velocidades de trabalho,” *Concilium*, vol. 22, no. 2, pp. 118–130, 2022, doi: 10.53660/clm-098-119.
- [12] N. Chacon, “Evaluación y control de ruido ocupacional en la empresa minera de explotación,” 2020.
- [13] G. Caamaño, E. Torres Cueva, K. Escobar Segovia, C. Arias Ulloa, and D. Garcés León, “Exposición al ruido en el puesto de trabajo de perforista en una mina subterránea en el distrito minero Zaruma-Portovelo,” “Carácter” *Revista Científica de la Universidad Del Pacífico ISSN 2602-8476*, vol. 6, no. 1, 2018, doi: 10.35936/caracter.v6i0.39.
- [14] A. CUEVAS, “EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE CONTROL DE RUIDO MEDIANTE LA SELECCIÓN DE PROTECTORES AUDITIVOS EN LA COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA S.A. TRABAJO,” 2019.
- [15] E. Garro A. and O. Tinoco, “Evaluación de los resultados de los exámenes médicos ocupacionales de la hipoacusia en trabajadores de una Planta de tintorería textil en Lima Años 2014 y 2017,” *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, vol. 23, no. 46, pp. 103–110, 2020, doi: 10.15381/iigeo.v23i46.19186.
- [16] Y. Palacios, P. A. Ceballos-Vásquez, and F. Rivera-Rojas, “Mental workload in faculty and consequences in their health: An integrative review,” *Brazilian Journal of Occupational Therapy*, vol. 29. 2021. doi: 10.1590/2526-8910.CTOAR21232808.
- [17] H. Briones, P. Carrasco-Alarcón, H. Sanhueza, N. Acevedo, R. Venturelli, and C. Morales, “Conocimiento de odontólogos chilenos sobre la pérdida auditiva generada por exposición ocupacional al ruido,” *Revista de la Facultad de Medicina*, vol. 69, no. 2, p. e79902, 2021, doi: 10.15446/revfacmed.v69n2.79902.
- [18] D. Romero, “Asociación de la exposición a ruido ocupacional con los niveles de presión arterial en trabajadores de una fábrica de cemento en los últimos 4 años,” 2020.
- [19] L. Simbaña Coronel, D. O. Campoverde Campoverde, and C. P. Cabascango Camuendo, “Evaluación del ruido laboral producido por equipos industriales en un taller mecánico,” *Conecta Libertad*, vol. 5, no. 3, pp. 13–26, 2021.
- [20] J. Córdova and D. Huaripata, “Evaluación del ruido ocupacional y su relación con problemas de salud en los conductores que laboran con vehículos menores (motokar) en la empresa mototaxis ‘El Ángel S.R.L’, Tarapoto 2017,” 2018.
- [21] L. Morales, D. Salazar, S. Collantes Vaca, and J. Vásquez, “Implicaciones en la salud ocupacional por exposiciones de luz y ruido en trabajadores de manufactura de calzado,” *SATHIRI*, vol. 14, no. 1, p. 207, 2019, doi: 10.32645/13906925.817.
- [22] A. Caporale, L. Botti, F. G. Galizia, and C. Mora, “Assessing the impact of environmental quality factors on the industrial performance of aged workers: A literature review,” *Safety Science*, vol. 149. May 01, 2022. doi: 10.1016/j.ssci.2022.105680.
- [23] I. Halim, M. S. S. Mohamed, L. S. Jin, and A. H. Azani, “Design of noise insulator for metal stamping operation in manufacturing sector,” *International Journal of Integrated Engineering*, vol. 11, no. 8, pp. 19–24, 2019, doi: 10.30880/ijie.2019.11.08.003.
- [24] Z. Stockholm *et al.*, “A Quantitative General Population Job Exposure Matrix for Occupational Noise Exposure,” *Ann Work Expo Health*, vol. 64, no. 6, pp. 604–613, Jul. 2020, doi: 10.1093/annweh/wxaa034.
- [25] P. Arezes, J. Baptista, M. Barroso, P. Carneiro, P. Cordeiro, and N. Costa, “OCCUPATIONAL SAFETY AND HYGIENE III,” 2015.
- [26] J. Gomez, “EL RUIDO: EFECTOS PSICOLÓGICOS Y SU INCIDENCIA ECONÓMICA,” vol. 21, no. 1, pp. 75–82, 2011, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44172593005>
- [27] G. Coca, O. Castrillón, S. Ruiz, M. Sanz, and L. Jiménez, “Sustainable evaluation of environmental and occupational risks scheduling flexible job shop manufacturing systems,” *J Clean Prod*, vol. 209, pp. 146–168, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.193.
- [28] C. Yunet, B. Reyes, and Y. Sánchez, “Diseño de procedimiento para la gestión de ruido en empresas productivas cubanas,” vol. 28, 2022, [Online]. Available: <https://orcid.org/0000-0002-4641-1222>
- [29] M. Carrillo, J. Peralta, C. Severiche, V. Ortega, and L. Vargas, “Reducción de ruido industrial en un proceso productivo metalmecánico: Aplicación de la metodología DMAIC de Lean Seis Sigma,” *Entre ciencia e ingeniería*, vol. 15, no. 30, pp. 41–48, Dec. 2021, doi: 10.31908/19098367.1819.
- [30] A. Diaz, G. Ramirez, and A. Lara, “Hipoacusia en Trabajadores Expuestos a Ruido Industrial en una

- Empresa de Matehuala San Luis Potosí,” vol. 13, no. 2, p. 53, Apr. 2021.
- [31] I. Kabe *et al.*, “A survey of the otoacoustic emissions (OAEs) of workers exposed to noise in manufacturing factories,” *Sangyo Eiseigaku Zasshi*, vol. 57, no. 6, pp. 306–313, 2015, doi: 10.1539/sangyoeisei.E15002.
- [32] B. Zamorano, V. Parra, I. Vargas, Y. Muraira, and C. Ramos, “Disminución Auditiva de Trabajadores Expuestos a Ruido en una Empresa Metalmeccánica,” 2009. [Online]. Available: www.cienciaytrabajo.cl
- [33] S. M. Cerro, D. Valladares, and M. J. Valladares, “Factores asociados a hipoacusia inducida por ruido en trabajadores de una empresa metalmeccánica de Talara, Piura periodo 2015 - 2018,” vol. 13, no. 2, pp. 122–127, 2020, doi: 10.35434/rcmhnaaa.2020.132.658.
- [34] C. Severiche, V. Perea, and D. Sierra, “Ruido industrial como riesgo laboral en el sector metalmeccánico,” *Ciencia y Salud Virtual*, vol. 9, no. 1, pp. 31–41, Jul. 2017, doi: 10.22519/21455333.776.
- [35] K. Sun, A. S. Azman, H. E. Camargo, and P. G. Dempsey, “Risk assessment of recordable occupational hearing loss in the mining industry,” *Int J Audiol*, vol. 58, no. 11, pp. 761–768, Nov. 2019, doi: 10.1080/14992027.2019.1622041.
- [36] M. Boger, A. L. Sampaio, and C. A. C. P. de Oliveira, “Analysis of Hearing and Tinnitus in Workers Exposed to Occupational Noise,” *Int Tinnitus J*, vol. 20, no. 2, 2016, doi: 10.5935/0946-5448.20160017.
- [37] A. Montenegro, M. Campos, and J. Bergmann, “Modelamiento Predictivo de la Pérdida Auditiva Laboral, Relacionada con el Tratamiento de Absorción Acústica en una Industria Metalmeccánica en Chile,” Mar. 2016. [Online]. Available: www.cienciaytrabajo.cl
- [38] M. Cortez, M. López, and B. Castillo, “EL RUIDO EN UNA EMPRESA DEL SECTOR PRODUCTIVO, CAUSANTE DE ENFERMEDADES PROFESIONALES,” 2017.
- [39] A. Fajardo, J. Hernandez, Y. Gonzalez, H. Hernández, and M. Torres, “Percepción del riesgo mediante sus atributos psicosociales en trabajadores de la industria metalmeccánica en la ciudad de Bogotá, D.C (Colombia),” pp. 79–86, 2018.
- [40] M. Gomez, J. Jaramillo, Y. Ceballos, A. Martinez, M. Velásquez, and E. Vásquez, “Ruido industrial: efectos en la salud de los trabajadores expuestos,” vol. 3, pp. 174–183, Jun. 2012.
- [41] Instituto Nacional de Calidad. (2010, Dec. 17). “Acoustics. Determination of occupational noise exposure - Engineering method”. Norma Técnica Peruana NTP-ISO 9612:2010.
- [42] Decreto Supremo 023-2017 EM, “D. S. 024-2016-EM,” vol. 324, pp. 1–234, 2017.
- [43] Acoustical Engineering & Sound Masking Experts. Soft dB. Accedido el 3 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.softdb.com/products/rapone2/>
- [44] PROTOCOLO SOBRE NORMAS MÍNIMAS PARA EL DESARROLLO DE PROGRAMAS DE VIGILANCIA DE LA PÉRDIDA AUDITIVA POR EXPOSICIÓN A RUIDO EN LOS DIVISION DE POLITICAS PÚBLICAS SALUDABLES Y PROMOCIÓN DEPARTAMENTO DE SALUD OCUPACIONAL Santiago-Chile 2013 Protocolo de Exposición Ocupacional a Ruido (PREXOR)
- [45] C. Pérez, “Capítulo 8 Ruido,” *Unican*, pp. 255–278, 2020.
- [46] A. Otolaringología, *Exposición al ruido y su impacto en la salud*. 2017.
- [47] D. Escobar, M. D. J. Vivas-Cortés, C. P. Espinosa-Cepeda, A. M. Zamora-Romero, and M. E. Peñuela-Epalza, “Hearing loss symptoms and leisure noise exposure in university students in Barranquilla, Colombia,” *Codas*, vol. 34, no. 1, pp. 1–8, 2022, doi: 10.1590/2317-1782/20212020379.
- [48] F. Miyara, “NIVELES SONOROS,” *FCEIA*, pp. 1–2, 2007.
- [49] M. Sánchez, J. Valenzuela, and H. G. Fontecilla Sección Ruido Vibraciones, “METODOLOGÍAS PARA OBTENER LA DOSIS DE RUIDO DIARIA (DRD),” *Departamento de Salud Ocupacional*. pp. 1–10, 2014.
- [50] H. Patiño, “Comparativa de los niveles de ruido de la planta de asfalto con la legislación ecuatoriana y sus efectos en la audición de los trabajadores,” *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, vol. 6, no. 45, pp. 62–73, Sep. 2022, doi: 10.29018/issn.2588-1000vol6iss45.2022pp62-73.
- [51] C. Roberts, “Cirrus Research, S.L. - ¿Qué son las octavas y los filtros de tercio de banda de octava en un sonómetro?,” Cirrus S.L. Accessed: Sep. 29, 2023. [Online]. Available: <https://www.cirrusresearch.es/blog/2012/09/que-son-las-octavas-y-los-filtros-de-tercio-de-banda-de-octava-en-un-sonometro/>
- [52] A. Rodríguez, “DETERMINACIÓN DE LOS UMBRALES DE AUDICIÓN EN LA POBLACIÓN ESPAÑOLA. PATRONES,” 2015.
- [53] S. Gwirc, D. Lupi, and D. Brengi, “Sistema de análisis de traslación humana usando un acelerómetro,” *Microelectronica ...*, pp. 219–224, 2010.
- [54] C. Campoverde, “Mitigación del ruido ocupacional en el área de preparación de una industria empacadora y procesadora de atún,” *Ecuadorian Science Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2017, doi: 10.46480/esj.1.1.1.
- [55] L. Ruiz, “Efectos del Ruido en la Salud de los Trabajadores de una Empresa de la Construcción,” *Universidad Central Del Ecuador*, pp. 1–118, 2017.
- [56] W. John, G. Sakwari, and S. Mamuya, “Noise exposure and self-reported hearing impairment among gas-fired electric plant workers in Tanzania,”




- Ann Glob Health*, vol. 84, no. 3, pp. 523–531, 2018, doi: 10.29024/AOGH.2305.
- [57] A. Europea, “Reducción y control del ruido,” *Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo*, vol. 1, no. 58, pp. 1–2, 2005.
- [58] H. Ramírez, “Estudio de ruido ocupacional para la prevención de la pérdida auditiva, en la planta concentradora de minerales Santa Rosa de Jangas de la UNASAM-2017,” 2017.
- [59] Rimac, “Conceptos y definiciones de Higiene Ocupacional Conceptos y definiciones de Higiene Ocupacional,” *Técnico: Salud e higiene ocupacional*, p. 2, 2017.
- [60] Y. González, “Funciones que caracterizan la gestión de seguridad industrial, ambiente e higiene ocupacional,” *Maya - Revista de Administración y Turismo*, vol. 2, no. 1, pp. 35–48, 2021, doi: 10.33996/mayav2i1.3.
- [61] Ministerio de Salud, “Resolucion Ministerial N°312-2011-Minsa: Protocolos de Exámenes Medico Ocupacionales y Guías de Diagnostico de los Exámenes Medicos Obligatorios por Actividad,” no. 3, pp. 1–42, 2011.
- [62] C. Gisela, F. Salgado, and V. William, “Management of occupational exposure to noise at the technology transfer center for training and research in vehicle emission control (CCICEV) of the escuela politécnica nacional,” *Revista Politecnica*, vol. 48, no. 2, pp. 21–32, 2021, doi: 10.33333/rp.vol48n2.02.
- [63] A. Aceituno *et al.*, “Guía técnica guía para la selección y control de protectores auditivos,” *Instituto de Salud Pública*, vol. 01, pp. 1–16, 2015.
- [64] W. Rodríguez, “Los primeros grupos anti-ruido con sus campañas por la lucha de un «Día sin ruido»,” *Ecos (Montevideo)*, vol. 2, no. 1, 2021, doi: 10.36044/ec.v2.n1.2.

Fabrizio Jeancloud Manrique Marquez se encuentra afiliado a la Universidad Tecnológica del Perú. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7115-6654>.

Tania Melanie Cutipa Apaza se encuentra afiliado a la Universidad Tecnológica del Perú. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6524-6195>.

Análisis de transformación digital en empresas rurales del sector cafetero en el municipio de Santa Fe de Antioquia

Analysis of digital transformation in rural companies in the coffee sector in the municipality of Santa Fe de Antioquia.

J.J Alba Noriega.  ROR A.C Martínez.  ROR P.A Arias Quintero 

DOI: <https://doi.org/10.22517/23447214.25524>

Scientific and technological research paper

Abstract— Industry 4.0 emphasizes the importance of digital transformation, and many different types of companies share the goal of implementing it. In rural regions like Colombia's coffee sector, integrating new technologies is seen as a chance to streamline operations, boost output, and profitability. On the other hand, this study suggests that Santa Fe de Antioquia's coffee sector has lagged behind in integrating information and communication technologies (TIC). Using competitive models to enhance organizational procedures, the research focuses on assessing the state of digital transformation in this industry. This research is also motivated to help local coffee growers be included in the modernization process because there is a dearth of TICs adoption in that region. Interviews, a thorough search of several information sources, and qualitative data collection techniques are all part of the methodology. In order to better integrate TIC in Santa Fe de Antioquia, a benchmarking analysis and analysis of the state of information technology tools in the coffee industry are suggested.

Index Terms — Benchmarking; Digital Maturity; Digital Transformation; Electronic Commerce; Industry 4.0; Social Networks.

Resumen— La transformación digital tiene gran relevancia en la Industria 4.0, su implementación es un objetivo común para organizaciones en múltiples sectores. La integración de nuevas tecnologías en áreas rurales como el sector del café en Colombia se presenta como una oportunidad para optimizar procesos, aumentar la producción y mejorar la rentabilidad. Sin embargo, este estudio señala que el sector cafetero de Santa Fe de Antioquia ha experimentado rezagos en la inclusión de tecnologías de la información y comunicación (TIC). La investigación se centra en analizar el estado de la transformación digital en este sector, empleando modelos competitivos para mejorar sus procesos organizacionales. Adicionalmente la falta de nuevas TIC en la región motiva esta investigación a contribuir en la inclusión de los caficultores locales en el proceso de modernización.

Este manuscrito fue recibido el 05 de Febrero de 2024. Fue aceptado el 05 de Julio y publicado en 19 de Diciembre de 2025. J.J Alba Noriega, egresado de ingeniería de sistemas de la universidad de Pamplona. Actualmente estudiante de la maestría En Gestión De Tecnologías De La Información de Universidad Cooperativa De Colombia Sede Bucaramanga. jhon.alba@campusucc.edu.co

La metodología incluye técnicas cualitativas de recolección de datos, entrevistas y una búsqueda sistemática en diversas fuentes de información. Se propone un análisis del estado actual y un benchmarking de herramientas de tecnologías de la información en el sector cafetero, con el objetivo de diseñar estrategias específicas para mejorar la incorporación de las TIC en Santa Fe de Antioquia.

Palabras claves— Benchmarking; Comercio Electrónico; Industria 4.0; Madurez Digital; Redes Sociales; Transformación Digital.

I. INTRODUCCIÓN

Las nuevas tecnologías de la información y comunicación (TIC) han generado una transformación significativa en la sociedad contemporánea, extendiendo su influencia no solo al ámbito de los servicios, sino también al sector productivo. En el sector rural, estas innovaciones desempeñan un papel de vital importancia al realizar un impacto significativo permitiendo fácilmente la comercialización de sus productos. Según [1]. Toda transformación implica cambio y esta no es la excepción, se requiere estar listos para entender cómo adaptarse a nuevos escenarios digitales que facilitan las actividades del día a día.

La transformación digital de alto rendimiento permite la incorporación de nuevas tecnologías, facilita el análisis detallado y optimiza los trámites de las empresas del medio rural. Por otro lado, el internet conecta y permite una buena comunicación entre los elementos de la cadena productiva, los sistemas de control de las micro, pequeñas y medianas empresas. la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), ha incluido la digitalización como factor de desarrollo, definiéndola como: la utilidad que se le da a la tecnología como soporte de los sistemas productivos [2].

A.C Martínez, Asesora de la maestría En Gestión De Tecnologías De La Información de Universidad Cooperativa De Colombia Sede Bucaramanga. andreaacris.martinez@campusucc.edu.co

P.A Arias Quintero Coordinador y Asesora de la maestría En Gestión De Tecnologías De La Información de Universidad Cooperativa De Colombia Sede Bucaramanga. pedro.ariasq@ucc.edu.co



Este enfoque integral no sólo aumenta la productividad, sino que también ayuda a mejorar la disponibilidad y agilidad de los procesos internos de cada empresa que se dedica a todo lo relacionado con el sector del café.

la alfabetización digital dentro de cada empresa es muy importante, el estado de la digitalización para identificar y responder a los desafíos que plantea actualmente la transformación digital ha impuesto grandes retos a las organizaciones y empresas del sector cafetero para que sea competitivas y uno de estos está relacionado con la transformación digital, obligándolas a gestionar cambios e innovar para su constante interconexión y la inclusión de nuevas herramientas TIC con sus clientes. En las empresas del siglo XXI es necesario la utilización de la web para que las empresas puedan comercializar sus productos y servicio tanto a nivel nacional como internacional; de allí la necesidad de la digitalización en los distintos procesos administrativos y operativos.

II. CONCEPTOS BÁSICOS Y TRABAJOS RELACIONADOS

El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones((MinTIC).[4], ha desarrollado durante varios años programas destinados a cerrar la brecha digital en la Colombia rural este procedimiento se enfoca en todas las áreas, especialmente con la agricultura y es aprovechable en el sector Café del municipio de santa Fe de Antioquia. Por ejemplo, el proyecto “Live Digital Kiosk” pretende desplegar 7.832 kioscos digitales para conectar los departamentos de Antioquia, la Amazonía, la Orinoquía y el Chocó; Actualmente el programa cuenta con 952 kioscos en diversos municipios del país. Por otro lado, el Plan Nacional de Conectividad establece una serie de iniciativas encaminadas a ampliar la cobertura de las conexiones de red y ampliar el uso y prestación de servicios de telecomunicaciones. en este plano Actualmente se encuentran en desarrollo dos proyectos que apuntan a conectar todas las capitales urbanas: el Proyecto Nacional de Fibra Óptica (PNFO) y el Proyecto Nacional de Conexión de Alta Velocidad (PNCAV).

A. Apropiación de las TI aplicado a la agricultura

El Ministerio de Agricultura propone una estrategia para fortalecer el uso de las zonas rurales en Colombia en colaboración con el MINTIC, donde desde hace varios años se desarrollan proyectos en zonas rurales para hacer un mayor uso de herramientas tecnológicas en las labores agrícolas. Estos proyectos incluyen capacitación gratuita para líderes que puedan llevar este conocimiento a sus comunidades, así como la adopción colaborativa de tecnologías avanzadas como robótica, computación en la nube, IoT, blockchain y big data [1].

B. Oferta apropiación de TIC

Actualmente desde el MINTIC se están avanzando en varios proyectos tanto en materia de apropiación de TIC, como en la implementación de tecnologías avanzadas (ciberseguridad, computación en la nube, Internet de las cosas, robótica, impresión 3D, realidad virtual, inteligencia artificial, entre otras.

Como parte de este trabajo, iniciamos ejercicios de co-creación y diagnóstico con Fedecafe, para identificar sus fortalezas, debilidades y oportunidades en uso de TIC. Estamos trabajando articuladamente con los gremios de productores, fortaleciendo las estrategias TIC con las cuales puedan impactar su productividad, tomar decisiones a tiempo y enfocar sus esfuerzos en las necesidades más relevantes del sector. [8]

C. Implementaciones de tendencias TI en el sector Café

Actualmente existen plataformas de proyectos conjuntos público-privados para crear mejoras en la cadena de valor y abastecimiento responsable, agricultura sostenible adaptada al clima y paisajes resilientes, acceso a servicios financieros y la inclusión de mujeres y jóvenes.

- Inversión en el campo para la productividad, equidad y sostenibilidad.
- Innovación y desarrollo de insumos para generación de cafés orgánicos
- Creación de nuevos materiales para el empaque y embalaje respetuoso con el medio ambiente
- Tecnologías y estrategias de reducción o compensación de contaminantes ambientales.

Durante el 2022 siguió siendo una prioridad el promover el uso de los canales digitales. En esta línea, y atendiendo una recomendación sobre inclusión financiera gremial del 89 Congreso Cafetero que se reunió en el 2021, se habilitaron las compras en línea con la CCI/TCI (La Cédula/Tarjeta Cafetera Inteligente) a través de PSE. Esta funcionalidad permite a los usuarios de la CCI o TCI hacer transacciones y pagos en canales de venta por Internet. En cuanto al uso de la CCI/TCI en el Canal Cafetero de las cooperativas, entre enero y septiembre se registraron \$41.439 millones en compras de café y \$2.123 millones en dispensaciones de efectivo. Desde 2015, las tarifas preferenciales de la CCI/TCI se han traducido en ahorros por \$324.000 millones para los caficultores y la institucionalidad. [8].

D. Industria 4.0 en el sector Cafetero

Según [7]. La Industria 4.0 está revolucionando la forma en que las empresas fabrican, mejoran y distribuyen sus productos a través de tecnología inteligente que permite la tecnificación del campo. A través de ellas se recopila información (Sensores, Internet de las Cosas), se almacenan datos (Big Data), se analizan (Analítica de datos e Inteligencia Artificial) para generar datos estratégicos para la toma de decisiones del cultivo, del terreno, de la calidad del suelo, de las condiciones climáticas y de las necesidades que puede tener este y en

algunos casos se ejecutan por robots y sistemas automatizados de respuesta.

E. Transformación digital

“La Transformación digital en América Latina ha movilizó cerca de 195 mil millones de dólares al PIB en los últimos 10 años, y para el caso de Colombia, ha contribuido con el 6,12% del crecimiento del PIB, entre 2015 y 2020. Consciente de la importancia de esta dinámica, la CRC construyó esta hoja de ruta y su guía metodológica, que servirá para que todos los sectores fomentemos la economía digital y los nuevos modelos de negocio, y con ello impulsemos el empleo, la competitividad y el crecimiento del país”, explicó [4], Director Ejecutivo de la CRC.

III. ESTRUCTURA Y EJES PRINCIPALES DE LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL

A continuación, se presentan de manera exhaustiva los aspectos que deben considerarse para su implementación efectiva dentro de una organización. La información detallada proporcionada tiene como objetivo ofrecer una comprensión completa y facilitar la ejecución exitosa de estos elementos en el contexto organizativo.



Figura 1 Ejes centrales de la transformación digital

A. Primer eje:

Indagar si la organización cuenta con un líder senior que pueda liderar, facilitar, coordinar y gestionar de manera efectiva el proceso de transformación digital durante todo el viaje de transformación. Esta imagen de liderazgo representa no sólo la autoridad sino también las habilidades estratégicas y visionarias para liderar la organización hacia un futuro digital exitoso.

B. Segundo eje:

La visión y estrategia digitales examinan si la organización tiene el objetivo claro de brindar a los clientes una experiencia de clase mundial. También evalúa si se están realizando esfuerzos continuos para mejorar los productos, servicios o soluciones tecnológicas. Este enfoque estratégico es esencial para seguir siendo relevante y competitivo en el cambiante

entorno digital.

C. Tercer eje:

En relación al tercer eje, La atención se centra en los equipos de trabajo, las personas y la cultura digital. Aquí se puede observar la flexibilidad y agilidad de la organización, así como la capacidad de trabajar en el marco de la cooperación entre socios internos y externos. Una cultura digital basada en la adaptabilidad y la colaboración es esencial para fomentar la innovación y la agilidad en un entorno empresarial dinámico.

D. Cuarto eje:

En cuanto a la digitalización de procesos y decisiones, valorar si la empresa tiene definidos y estructurados procesos que sean digitales, eficientes y de fácil acceso. Además, se comprueba si existen reglas de negocio claras que permitan la toma de decisiones automatizada. Este enfoque garantiza operaciones fluidas y la capacidad de responder de manera flexible a las demandas cambiantes del mercado.

E. Quinto eje:

Se centra en tecnología, control y gestión de datos y herramientas digitales. El objetivo de la evaluación es determinar si la empresa cuenta con la última tecnología, herramientas digitales efectivas y una base de datos administrada de manera efectiva. Además, se pondrá a prueba la capacidad de la organización para aprovechar estas tecnologías y ofrecer eficazmente soluciones personalizadas a los clientes, asegurando así una posición destacada en el espacio digital.

IV. METODOLOGÍA

A. Diseño

Desde un enfoque cualitativo, el objetivo de este estudio es comprender qué características debe tener una propuesta de estrategia digital para fortalecer la transformación digital de las empresas del sector cafetalero del municipio de Santa Fe de Antioquia.



Figura 2 Fases de la metodología implementada

Desde el inicio de este estudio, su desarrollo se ha basado en la cooperación activa de la comunidad de personajes

principales. Su proyecto se desarrolló sobre los principios de la metodología de Investigación Acción Participativa (IAP).

Este enfoque facilita el análisis crítico en colaboración con grupos relevantes para comprender completamente sus problemas, necesidades, oportunidades y recursos disponibles. Utilizando esta información detallada, pretendemos desarrollar acciones concretas encaminadas a mejorar la realidad de este grupo y asegurar que el proceso de investigación sea relevante y beneficioso para las comunidades involucradas.

B. Entrevista:

Las entrevistas se realizaron durante varios días hábiles, teniendo en cuenta la disponibilidad de las personas. Se entrevistó a personas directamente relacionadas con productores, comerciantes y procesadores. Para aclarar, estas entrevistas se llevan a cabo como conversaciones dinámicas para que las personas se sientan cómodas y seguras de hablar con fluidez para aprender más sobre la comunidad y sus productos, y completar sus análisis y diagnósticos.

Estudio: Identificación de herramientas digitales que puedan ayudar a mejorar la presencia digital de la empresa familiar Santafé de Antioquia.

C. Procedimiento

Se realizó un estudio de tipo diagnóstico a las empresas de café presentes en el municipio de Santa Fe, donde se evaluó su conocimiento y uso acerca de las herramientas digitales que actualmente utilizan. Por otra parte, se implementó una indagación minuciosa, en el proceso de la transformación digital en el sector del café.

A. Planificación:

Esta fase se centra en identificar las necesidades o actividades que necesitan mejorarse; determinar los objetivos, métodos y herramientas que se utilizarán para mejorar y alcanzar los objetivos.

B. Ejecución:

En esta fase es de vital importancia, la ejecución de las entrevistas se fundamenta como un componente esencial para asegurar que el diagnóstico se lleve a cabo de acuerdo con la planificación previa. La aplicación de las entrevistas debe ser ejecutada con precisión y control, garantizando que cada paso del plan se realice de manera sistemática. Además, se busca incorporar una retroalimentación adecuada en cada etapa.

Validación:

Una vez realizadas las entrevistas, se debe validar los resultados obtenidos en cada pregunta. Es importante aclarar los mecanismos de evaluación y pruebas a realizar para determinar los niveles funcionales. Acción: Al comparar los resultados alcanzados con los resultados

esperados, es necesario analizar si son necesarias acciones correctivas o preventivas para mejorar o asegurar los resultados.

V. RESULTADOS

A. Diagnóstico de la Madurez Digital

Con el propósito de evaluar la madurez digital de las fincas objetivo, se pretende emplear un formato estructurado con puntos clave para la transformación digital. Este formato aborda los aspectos generales del estado de madurez digital, ajustando su relevancia en una escala acorde. Se analiza la presencia o cumplimiento de cada aspecto, proporcionando así un panorama integral de la madurez digital de la finca. Con base en estos resultados, se propone una lista adaptada a las necesidades generales, buscando maximizar su potencial digital.

El proceso de diagnóstico se realizará de manera colaborativa, utilizando unos ítems proporcionados de acuerdo a unas preguntas para cada empresa o negocio. Esta tabla considera el despliegue del negocio digital en relación con los habilitadores digitales. En detalle, la tabla abordará las competencias clave que se evaluarán, asignando una calificación a cada proceso según su nivel de madurez digital. En esta escala, la calificación **1** se otorgará a un proceso completamente analógico, mientras que la calificación **5** se reservará para un proceso totalmente digitalizado o mediado por tecnología. Este enfoque proporcionará una evaluación detallada de la madurez digital de cada finca, permitiendo identificar áreas de mejora y orientar estrategias específicas para potenciar la transformación digital en ambos casos.

La tradición cafetera se despliega a lo largo del departamento, siendo el municipio de Santa fe de Antioquia, un punto focal de estudio. Esta ruta se destaca por su arraigo histórico y su compromiso con la tecnificación sostenible en la producción de café. En el contexto de Santa Fe de Antioquia, la producción cafetera no solo representa una actividad económica vital, sino que también abre oportunidades para el desarrollo social en las fincas cafeteras locales.

Los caficultores de este municipio han demostrado la capacidad de generar y adaptar programas sociales que impactan positivamente la calidad de vida de las familias cafeteras. Un ejemplo destacado es el proyecto de mejora de infraestructura.

TABLA I
LISTADO DE EMPRESAS CAFETERAS DE SANTA FE DE ANTIOQUIA

Nombre Empresa	Representante Legal	Tipo de Empresa
Café Cativo	Jason Daniel Layos Madrid	Productor
Revolution coffee Antioquia	Edgar Alejandro Cárdenas Pérez	Transformador
Café dulce legado	Eduar Alcaraz	Transformador
Barnabe's coffee	Amparo Castro	Comercializador
CAFE MORTIÑO	JHONIFER BRAVO	Comercializador
CAFE DAVID JIMENEZ	DAVID JIMENEZ	Productor
CAFE LA ESMERALDA	MELIDA USUGA	Comercializador
CAFÉ ANOLIS	JIMENA RODRIGUEZ TAMAYO	Productor
SAN DROGON COFFEE	ALEX BRAN MORENO	Comercializador

B. Evaluación de la madurez Digital

A continuación, se ofrece un análisis de la madurez digital llevado a cabo en las empresas del sector cafetero en el municipio de Santa Fe de Antioquia. El propósito principal de este diagnóstico es evidenciar el uso de las herramientas de Tecnologías de la Información (TI). Con el fin de evaluar el nivel de inclusión de la sistematización en sus procesos. Este estudio detallado proporciona una visión integral de la adopción de tecnologías digitales y procesos sistematizados en el campo empresarial cafetero local.

Este diagnóstico no solo aspira a brindar una visión clara del estado actual de la transformación digital en el sector cafetero del municipio, sino que también tiene como objetivo primordial identificar áreas específicas de oportunidad.

Al analizar detalladamente el uso de las Tecnologías de la Información (TI) y la implementación de procesos sistematizados en estas empresas, se busca proporcionar insumos valiosos que sirvan como base para la toma de decisiones estratégicas.

A través de la identificación de oportunidades, este diagnóstico busca ofrecer recomendaciones concretas y personalizadas para cada empresa, con el propósito de impulsar su transformación digital. Estas recomendaciones van más allá de ser simples sugerencias; están diseñadas para catalizar cambios significativos que conduzcan a prácticas más eficientes y competitivas en el ámbito comercial de productos cafeteros.

TABLA II
DIAGNOSTICO DIGITAL DE EMPRESAS CAFETERAS DE SANTA FE DE ANTIOQUIA

CARACTERÍSTICA DIGITAL	CAFÉ CATIVO	REVOLUTION COFFEE ANTIOQUIA
¿Posee acceso a internet en la actualidad?	1	2
¿Utiliza un teléfono móvil inteligente con servicios de datos e internet?	1	2
¿Ha participado en actividades de fortalecimiento tecnológico?	1	1
¿Busca proveedores en línea como parte de la expansión de su negocio?	1	1
¿Cierra acuerdos de compra con proveedores a través de plataformas en línea?	1	1
¿Planifica los pedidos de manera sistematizada mediante algún software?	1	1
Gestionar la logística de entrada digitalmente	1	1
¿Gestiona la logística de entrada de forma digital?	1	2
¿Se da a conocer a clientes actuales y potenciales mediante publicidad en redes sociales?	1	1
¿Realiza ventas de productos a través de E-Commerce o canales digitales?	1	2
¿Lleva a cabo la recolección de datos del proceso de cultivo de manera sistematizada?	1	2

Como resultado, al examinar la tabla anterior, se evidencia claramente la situación de las empresas en el sector cafetero. La gráfica refleja el estado de madurez digital, considerando tanto el nivel de digitalización como las habilidades digitales de cada empresa. Se puede concluir que, en términos de la digitalización de sus procesos, el nivel de transformación digital es significativamente bajo para cada una de ellas.

No solo revela la brecha actual en la madurez digital del sector cafetero, sino que también destaca una oportunidad estratégica crucial para enfatizar una transformación digital significativa. Al identificar con precisión las áreas específicas con bajos niveles de digitalización, se abre la puerta a la formulación de estrategias focalizadas y adaptadas a las necesidades individuales de cada empresa. Este enfoque no solo busca elevar la eficiencia operativa, sino también fortalecer la competitividad de cada entidad frente a un entorno digital en constante evolución. Con este análisis, se busca llevar a las empresas del sector cafetero a un nivel de concientización de transformación digital. Esto no solo impulsa la eficiencia operativa, sino que también posiciona a cada empresa en una posición más sólida para competir y prosperar en un panorama empresarial cada vez más digitalizado. En última instancia, se busca no solo transformar digitalmente las operaciones, sino también fomentar una cultura de innovación y adaptación continua para asegurar el éxito a largo plazo en el sector cafetero de Santa Fe de Antioquia.

C. Benchmarking

En la era actual, donde la digitalización y la tecnología desempeñan un papel fundamental en el desarrollo empresarial,

resulta imperativo que las empresas cafeteras de Santa Fe de Antioquia evolucionen hacia la implementación de estrategias digitales y la adopción de herramientas tecnológicas especializadas en la producción de café. La falta de una estrategia digital definida y la ausencia de herramientas tecnológicas adecuadas se traducen en una carencia significativa en la eficiencia de los procesos de cultivo de café. La transición hacia una estrategia digital y la incorporación de herramientas tecnológicas en el sector cafetero de Santa Fe de Antioquia no solo serían una respuesta a las demandas del entorno empresarial actual, sino que también representarían una oportunidad para mejorar la eficiencia, la calidad del producto y la competitividad en el mercado global del café. Es esencial que las empresas comprendan la importancia de esta transformación digital y tomen medidas concretas para aprovechar los beneficios que la tecnología puede aportar a la producción cafetera.

La Federación Nacional de Cafeteros implementó un software para pymes que está revolucionando la manera como sus empleados y asociados están gestionando trámites y certificados. Se espera que esta transformación sea un ejemplo para más empresas.

- **Café CAFIX:** La plataforma de exportación de café CAFIX permite a los productores de café conectarse e interactuar con clientes extranjeros y de esta manera exportar café de forma directa, flexible y competitiva. Los productores de café que se adhieran a CAFIX pueden exportar café verde o procesado directamente a clientes internacionales a precios mutuamente acordados.
- **KAKTUS-HCM:** Software que actúa como un centro de servicios compartidos. Es decir, es una plataforma que centraliza la administración empresarial y los servicios de soporte para mejorar la eficiencia del servicio a clientes y empleados. Esto se consigue liberando carga de trabajo en diversas áreas del negocio que antes se dedicaban a tareas automatizadas. En cuanto a la asociación, el sistema está más orientado a la autogestión de los empleados, y los empleados pueden solicitar certificados, vacaciones y otros documentos a través de KAKTUS-HCM.

- La tienda del café:

Por otro lado, La tienda del café es un e-commerce en el que podrás encontrar los mejores cafés especiales colombianos clasificados por su puntaje, región, altura, variedad y sabor. Se trata de uno de nuestros clientes más importantes, y en este artículo te hablaremos sobre la estrategia de marketing que hemos implementado para aumentar su posicionamiento y número de ventas.

- Comprocafedecolombia.com

Más de 50 marcas de café colombiano han encontrado un lugar en el Marketplace para destacar y vender directamente sus productos. Con esta plataforma digital las marcas con el sello de café de Colombia, sin importar el tamaño de su empresa, tienen la oportunidad de vender online con el apoyo

de la Federación Nacional de Cafeteros.

- **Frubana**
Surgió del deseo de proporcionar alimentos asequibles en América Latina a través de mejores procesos de adquisición en el sector agrícola, adaptaciones tecnológicas en los mercados tradicionales y/o mercados de agricultores. La empresa realiza negocios utilizando aplicaciones móviles para promover las ventas directas, reducir los costos de envío y recopilar datos sobre los hábitos de gasto de los usuarios.

Benchmarking Local

La situación actual de Santa Fe de Antioquia muestra que los procesos de compras y ventas de la industria cafetera del municipio carecen de herramientas tecnológicas que puedan impulsar la digitalización, la sistematización y la eficiencia. Sin estas herramientas, se desperdician oportunidades para aumentar la productividad, la transparencia y la competitividad en la cadena de suministro del café.

VI. ANÁLISIS INTERNO

Presencia digital: Hoy en día, las empresas cafeteras tienen una presencia en línea limitada, lo que limita sus ofertas principalmente a áreas locales. Se recomienda incrementar la visibilidad de las plataformas digitales con el fin de ampliar su influencia en los procesos internos y externos de la organización.

Contabilidad digital: Evidentemente, las operaciones contables y la gestión de datos siguen siendo en gran medida analógicas, lo que puede provocar pérdida de información. La implementación de herramientas digitales puede mejorar eficazmente estas operaciones y prevenir posibles fallas.

A. *Plan de ejecución transformación digital*

Se propone un desarrollo que parte desde un estado completamente analógico, y el orden de cumplimiento de los objetivos puede ser ajustado según el estado inicial de cada finca. La duración del plan puede reducirse significativamente en función de la capacidad de ejecución y adaptación de cada empresa del sector cafetero. En este caso específico, la ejecución del plan en estas empresas podría llevarse a cabo en un plazo considerablemente corto.

Las estrategias fundamentales para lograr una transformación digital efectiva, deben implementarse en un periodo superior a 12 meses, reflejando procesos que requieren una ejecución continua.

1. Registrar la producción de manera digital.
2. Digitalizar la información contable.
3. Realizar análisis de datos.
4. Crear perfiles en redes sociales.
5. Brindar capacitación en las tecnologías utilizadas.
6. Ejecutar campañas publicitarias.
7. Implementar una red WSN (satelital en áreas sin cobertura).

8. Proporcionar capacitación para realizar un análisis adecuado de los datos de la red.
9. Integrar datos de la red en el proceso de producción.
10. Realizar estudios de mercado.
11. Establecer mecanismos de distribución.
12. Detectar nuevos mercados.
13. Desarrollar nuevos productos.
14. Producir material publicitario.
15. Promover productos diseñados digitalmente.
16. Ingresar en plataformas de comercio electrónico.
17. Gestionar el conocimiento.
18. Implementar herramientas digitales de asistencia en los procesos.

B. Principales Plataformas de Comercio Electrónico:

A continuación, algunas opciones destacadas para ampliar la presencia en redes, publicitar productos de manera gratuita y acceder a funcionalidades de pago que maximizan el alcance de los productos.

- Marketplace de Facebook:

Se destaca como una de las opciones más efectivas para la compra y venta de productos y servicios. Ofrece herramientas de publicación y se integra con tecnologías como WhatsApp, facilitando las comunicaciones entre vendedores y compradores.

- MercadoLibre:

Esta plataforma proporciona una variedad de herramientas que complementan todo el espectro del comercio electrónico. Incluye publicaciones gratuitas, pasarela de pagos, trazabilidad y un sistema de distribución integrado con una cadena logística de alto nivel. Aunque presenta herramientas intuitivas, se aplica una comisión por cada producto vendido, lo cual puede reflejarse en el precio final al consumidor, haciéndola considerada como una opción más costosa frente a la competencia.

- OLX:

Después de actualizaciones recientes, OLX se destaca como uno de los dominios de comercio electrónico gratuitos más conocidos y utilizados. Proporciona una plataforma moderna que incorpora nuevas tecnologías para mejorar la experiencia del usuario.

Sin embargo, existen otras opciones más sofisticadas que ofrecen la capacidad e integración para exportar productos a nivel internacional. En Colombia, la integración con cadenas logísticas como DHL, Western Union y PayPal permite una importante expansión del alcance internacional.

VII. CONCLUSIONES

De acuerdo a la investigación realizada se puede observar que es indispensable promover o implementar de una plataforma tecnológica en Santa Fe de Antioquia podría fomentar la conexión directa entre productores y compradores, eliminando intermediarios y fortaleciendo la relación entre ambos actores de la cadena. Esto no solo impulsaría la economía local, sino que también podría abrir nuevas oportunidades de negocio y promover prácticas comerciales más justas y sostenibles en cada una de las empresas pertenecientes al sector cafetalero de Santa Fe de Antioquia, la implementación de un plan de transformación digital se presenta como una estrategia viable y necesaria. Sin embargo, este proceso debe llevarse a cabo con la debida planificación, considerando detalladamente el entorno específico y los riesgos locales que puedan surgir en cada etapa.

Se debe tener en cuenta un enfoque muy bien definido en relación a la transformación digital en el sector cafetalero de Santa Fe de Antioquia requiere una aproximación estratégica y adaptada a las circunstancias locales. Al abordar estos desafíos con una planificación cuidadosa y un enfoque proactivo hacia la adquisición de conocimientos, las empresas pueden mitigar los riesgos asociados a una mala ejecución y posicionarse de manera óptima para aprovechar los beneficios de la era digital en la producción y comercialización de café.

La identificación de herramientas digitales para su implementación en las empresas rurales del sector cafetero de Santa Fe de Antioquia se presenta como un paso fundamental hacia la transformación digital en esta región. Esta investigación destaca la necesidad de adaptar y modernizar las prácticas comerciales tradicionales mediante la integración de tecnologías innovadoras, mediante las bases para una transformación significativa en la gestión de las operaciones cafetaleras. Estas herramientas no solo facilitan la recopilación y análisis de datos cruciales, sino que también ofrecen oportunidades para mejorar la eficiencia, la transparencia y la toma de decisiones en toda la cadena de valor. Incluyendo herramientas digitales que no solo responde a la demanda actual de modernización, sino que también abre la puerta a nuevas posibilidades de crecimiento y competitividad para las empresas rurales del sector cafetero.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Agricultura, S. M.-M. (05 de 03 de 2019). TIC para el agro. Obtenido de tic-para-el-agro. 5 Mar 2019. Disponible en: <https://sac.org.co/tic-para-el-agro>
- [2]. American Psychological Association. Manual de publicaciones de la American Psychological Association. (2010) México: Manual Moderno.
- [3]. Area European Education, C. Plan de Acción de Educación Digital (2021-2027). 2022 Disponible en: <https://education.ec.europa.eu/es/focus-topics/digital-education/action-plan>

[4]. Arias Pimienta, G. D. Mintic.gov.co. Obtenido de Lista la Hoja de Ruta para asumir la transformación digital en Colombia. 24 de noviembre de 2017. Disponible en: <https://mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/61783:Lista-la-Hoja-de-Ruta-para-asumir-la-transformacion-digital-en-Colombia>

[5]. Barranco Alfaro, K. &. Repositorio.cuc.edu.co. Obtenido de TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN MEDIOS IMPRESOS. 2021. Disponible en: <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/8798/Transformaci%C3%B3n%20digital%20en%20medios%20impresos%20de%20la%20ciudad%20de%20Barranquilla.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[6]. Barrios Parejo, I. Á. Revistas Curn. Obtenido de Análisis de la transformación digital de las empresas en Colombia: dinámicas globales y desafíos actuales. 2021. Disponible en: <https://revistas.curn.edu.co/index.php/aglala/article/view/1864>

[7]. CIGEPI, C. D. CAFÉ UN SECTOR DE OPORTUNIDAD PARA LAS TECNOLOGÍAS DE LA INDUSTRIA 4.0. Obtenido de Superintendencia de Industria y comercio. 05 de mayo 2022. Disponible en: https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/2022/Boletín%20final_Café.pdf

[8]. fedecafeteros. Mi café es de calidad, mi finca es productiva y sostenible, mi futuro es próspero. Obtenido de Por un futuro cafetero próspero. 30 de noviembre de 2022. Disponible en: <https://federaciondefecafeteros.org/app/uploads/2022/12/Informe-del-Gerente-D.pdf>

[9]. Fundación Universitaria Konrad Lorenz. Para Autores: Revista Latinoamericana de Psicología. 10 de Julio de 2014. Disponible en: <http://publicaciones.konradlorenz.edu.co/index.php/rpsi/about/submissions#onlineSubmissions>

[10]. Giuliani, A. F. Benchmarking como instrumento Dirigido al cliente. Obtenido de Redalyc, Pag- 77-94. 2006. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/877/87791706.pdf>

[11]. González Varona, J. M. uvadoc.uva.es. Obtenido de Retos para la Transformación Digital de las PYMES: Competencia Organizacional para la Transformación Digital. 2020. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/47767/Tesis1874-210729.pdf?sequence=>

[12]. Gutiérrez Zotes, P. Marcas, consumidores y transformación digital. 2016. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5765627>

[13]. Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2006). Metodología de la investigación. México: MacGraw-Hill.

[14]. López García, M. E. Repository.uniminuto.edu.co. Obtenido de La transformación digital como alternativa a la

gestión empresarial y competitividad en las Pymes comerciales de la ciudad de Medellín. mayo de 2023 . Disponible en: https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/17771/1/T.A_E_LopezMaria-JaramilloKaren-MaceaAlberto_2023.pdf

[15]. Marciniak, R. El benchmarking como herramienta de mejora de la calidad de la. Obtenido de Educar, Pag 171-207: mayo de 2023. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3421/342149105010.pdf>

[16]. Montagut, P. agronegocios.co. Digitalización para un campo más productivo. 08 de Octubre de 2021. Disponible en: <https://www.agronegocios.co/comentarios/pedro-montagut-2867644/digitalizacion-para-un-campo-mas-productivo-3244267>

[17]. Procolombia. Comercio electrónico, una necesidad para los exportadores colombianos. Obtenido de Procolombia. 06 de 04 de 2020. Disponible en: <https://prensa.procolombia.co/comercio-electronico-una-necesidad-para-los-exportadores-colombianos>




Andrea Cristina Martínez Ardila is a Systems Engineer from the Universidad Industrial de Santander and holds a Master's degree in Educational Technology Management from the Universidad de Santander. She currently works as a professor at the Universidad Cooperativa de Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3828-5593>

Pedro Alberto Arias Quintero is a Systems Engineer from the Universidad Industrial de Santander and holds a Master's degree in Informatics from the Universidad Industrial de Santander. He currently works as a professor at the Universidad Cooperativa de Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2039-4003>.

Jhon Jairo Alba Noriega is a Systems Engineer from the Universidad de Pamplona and holds a Master's degree in Education with a specialization in Higher Education from the Universidad Internacional Iberoamericana. He currently works as an instructor at the Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001482030.

Soluciones de Software en el Contexto de la Transformación Digital

Software Solutions in the Context of Digital Transformation

J.A Paez-Navarro  ; A.C. Martínez-Ardila  ; P. A. Arias-Quintero 

DOI: <https://doi.org/10.22517/23447214.25527>

Scientific and technological research paper

Abstract— This document provides a comprehensive view of the importance of software solutions in the context of digital transformation, highlighting their role in innovation and improving efficiency in organizations. In addition, information systems are analyzed and relevant conclusions are drawn about their importance and usefulness. Finally, the theoretical-conceptual approach focuses on understanding digital transformation as a profound change in the culture and way of working in companies, requiring a strategic vision and the incorporation of new strategies, processes, cultures and skills in the organization. Likewise, the importance of strategic approaches, dynamic capabilities and user-centric considerations to achieve an effective digital transformation is highlighted.

Keywords— Artificial intelligence; Digital transformation; Information systems; Organizational innovation; Software solutions.

Resumen— Este documento proporciona una visión integral de la importancia de las soluciones de software en el contexto de la transformación digital, destacando su papel en la innovación y la mejora de la eficiencia en las organizaciones. Además, se analizan los sistemas de información y se extraen conclusiones relevantes sobre su importancia y utilidad, por último, el enfoque teórico-conceptual se centra en comprender la transformación digital como un cambio profundo en la cultura y la forma del trabajo en las empresas, requiriendo una visión estratégica y la incorporación de nuevas estrategias, procesos, culturas y habilidades en la organización. Asimismo, se destaca la importancia de enfoques estratégicos, capacidades dinámicas y consideraciones centradas en el usuario para lograr una transformación digital efectiva.

Palabras claves— Inteligencia artificial; Innovación organizacional; Sistemas de información; Soluciones de software; Transformación digital.

Este manuscrito fue enviado el 03 de Enero de 2024, aceptado el 20 de Noviembre de 2025 y publicado el 19 de diciembre de 2025. Andrea Cristina Martínez Ardila está afiliada a la Universidad Cooperativa de Colombia Sede Bucaramanga, grupo de investigación GITI, Bucaramanga, Colombia (correo electrónico: andreaocris.martinez@campusucc.edu.co). Jordan Alexis Paez Navarro está afiliado a la Universidad Cooperativa de Colombia Sede Bucaramanga, grupo de investigación GITI, Bucaramanga, Colombia (correo electrónico: jordan.paez@campusucc.edu.co). Pedro Alberto Arias Quintero está afiliado a la Universidad Cooperativa de Colombia Sede Bucaramanga, grupo de investigación GITI, Bucaramanga, Colombia (correo electrónico: pedro.ariasq@ucc.edu.co).

I. INTRODUCCIÓN

Desde de aparición de la primera computadora electrónica programable, la ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), desarrollada durante la Segunda Guerra Mundial por la Universidad de Pensilvania, la evolución tecnológica ha avanzado vertiginosamente y le ha llevado a las organizaciones la necesidad de iniciar procesos de transformación, con el objetivo de perdurar en el tiempo y mejorar la calidad de los productos.

Actualmente, la digitalización se ha involucrado en todos los rincones de la sociedad y la economía, iniciando lo que comúnmente se conoce como la "Transformación Digital". En este contexto, las empresas se enfrentan a los desafíos de adaptación, a entornos competitivos que demanda agilidad para la toma de decisiones, eficiencia en los procesos y capacidad de innovación[1].

Otro factor que impulso aceleradamente la adopción de la transformación digital en las organizaciones fue la crisis sanitaria originada por el COVID-19, obligando a las empresas a adoptar nuevas maneras de hacer las cosas, para dar cumplimiento a los objetivos estratégicos y generar nuevos métodos para relacionarse con los clientes y el ambiente empresarial. Es así que durante la pandemia se observó un aumento del 800% en los sitios web empresariales en algunos países de América Latina, y el comercio electrónico creció rápidamente, además, las organizaciones implementaron herramientas digitales como la videoconferencia y el trabajo remoto para poder seguir trabajando durante la pandemia.[2]

Es así, que la optimización de procesos empresariales emerge como un factor crítico para la supervivencia de las organizaciones. La implementación de soluciones de software se presenta como una herramienta estratégica clave en este proceso, permitiendo a las empresas no solo automatizar tareas rutinarias, sino también mejorar la toma de decisiones, potenciar la colaboración interna y ofrecer productos y servicios más eficientes y personalizados.[3]

Al respecto, esta investigación busca dar un contexto sobre la utilización de herramientas de software para apoyar procesos



de Transformación Digital en las empresas, potenciar la innovación y mejorar la competitividad a largo plazo y dar recomendaciones sobre la implantación exitosa en las organizaciones.

A través de una revisión de documentos, se examinará las tendencias actuales, busca proporcionar una visión profunda y perspicaz sobre el papel crítico que desempeñan las soluciones de software en la configuración del paisaje empresarial en la era digital y su capacidad para impulsar la innovación y la sostenibilidad organizacional.

I. METODOLOGÍA

A. Diseño

Una revisión sistemática de la literatura es un tipo de estudio que busca recopilar, evaluar y sintetizar de manera exhaustiva la evidencia disponible sobre un tema específico. Este tipo de revisión se caracteriza por seguir un protocolo predefinido y utilizando métodos rigurosos para identificar, seleccionar y analizar críticamente los estudios relevantes. [17]

Para llevar a cabo esta investigación sobre soluciones de software en el contexto de la transformación digital, se seguirá un enfoque metodológico cualitativo. Se recopilarán datos para obtener una visión completa de la implementación de software para la transformación digital en las organizaciones. La información se recopilará a través de revisión de literatura científica, informes industriales y estudios de casos para obtener una comprensión detallada de las soluciones de software utilizadas en diferentes contextos empresariales.

B. Instrumentos

Para construir una propuesta sobre recomendaciones de soluciones de software en procesos de transformación digital en las organizaciones, se realizó una búsqueda en bases de datos científicas como los son e-Libro y Google Académico analizando cada uno de los artículos científicos sobre transformación digital que puedan ser pueden aportar significativamente al contenido de nuestra investigación.

C. Procedimiento

La transformación digital implica el uso de tecnología y software para mejorar la eficiencia, productividad y competitividad de las organizaciones, una revisión sistemática de literatura sobre software para la transformación digital que consistió inicialmente, en identificar la objetivo general y los objetivos específicos de la revisión, posteriormente se realizó una búsqueda de literatura en bases de datos científicas, seleccionando y evaluando los estudios relevantes que cumplen con los criterios de la investigación, por último se analizan y sintetizan los resultados dando las conclusiones relevantes.

II. RESULTADOS

A. Objetivo Específico: Análisis sobre los sistemas de información para la transformación digital en una organización.

La transformación digital ha desencadenado un impacto representativo en diversas áreas organizacionales, implicando el uso de soluciones digitales para el tratamiento, almacenamiento e intercambio de información. Estas tecnologías digitales han permitido una mejor transparencia en las organizaciones, una toma de decisiones más informada y eficiente, la prevención de delitos y la mejora en la prestación de servicios.

Además, en el caso específico de los gobiernos, la transformación digital ha contribuido a la transparencia, es así, que el gobierno electrónico y digital es crucial para la modernización de la gestión pública, ya que busca optimizar los procesos administrativos, efectivizar la calidad del servicio brindado a los usuarios garantías a la transparencia de la gestión pública y cerrar la brecha tecnológica.[18]

En la actualidad, el uso de tecnología de la información y sistemas informáticos ha revolucionado la forma en que las organizaciones operan y toman decisiones. Los sistemas de información se han convertido en una herramienta crucial para los ejecutivos y altos directivos, ya que les permiten acceder a información en tiempo real sobre el desempeño de la organización y el entorno competitivo.

El desarrollo y mantenimiento de sistemas de información y software son factores claves para la mejora de procesos y apoyan la toma de decisiones gerenciales. Además, contribuyen en la creación de escenarios y posibles situaciones, permitiendo a la alta dirección predecir el resultado de las decisiones a tomar.

Por último, la integración de soluciones de software permite percibir a la empresa como un todo, alineando los procesos para la toma de decisiones determinantes para sobrevivir a las cambiantes condiciones de los mercados. Al respecto, exploraremos con más detalle cómo se clasifican los sistemas de información, los cuales impactan los procesos y apoyan la toma de decisiones en las organizaciones contemporáneas:

1) Sistemas de procesamiento de transacciones.

Inicialmente se encuentran los sistemas de procesamiento de transacciones (TPS o Transaction Processing System), los cuales gestionan las transacciones en tiempo real, como ventas, compras, pagos y nóminas. De manera que, se consideren críticos para la operación diaria de la organización y suelen estar diseñados para ser altamente eficientes, confiables y escalables.

2) Sistema de información gerencial.

Actualmente, la toma de decisiones efectivas y estratégicas

es fundamental para el éxito de una organización. Para lograrlo, es necesario contar con un sistema de información gerencial que recopila, organiza y procesa los datos más relevantes para ayudar a la dirección en la toma de decisiones. Es así, que los sistemas de información gerencial utilizan diversas fuentes de información, como bases de datos internas y externas, informes financieros, análisis de mercado y tendencias que se recopilan de manera clara y concisa, a través de informes, gráficos y tablas, permitiendo una evaluación intuitiva de la situación actual de la empresa, para el sustento de decisiones informadas y estratégicas.

3) *Sistemas de soporte a decisiones.*

Un sistema de soporte a decisiones es un conjunto de herramientas que ayuda a los individuos o grupos a tomar decisiones informadas y fundamentadas, utilizando tecnología informática y gran variedad de datos para analizar, organizar y presentar información en la toma de decisiones.[19]

4) *Sistemas de información ejecutiva.*

Este tipo de sistema proporciona a los directivos información para la toma de decisiones estratégicas, se integran con una variedad de fuentes de datos, incluidos sistemas de gestión de bases de datos, sistemas de información de gestión empresarial (ERP), sistemas de información de gestión de la cadena de suministro (SCM) y sistemas de información de gestión de relaciones con los clientes (CRM). De esta forma, los ejecutivos y directivos pueden tener una visión completa de la situación de la empresa en tiempo real y tomar decisiones estratégicas informadas.

5) *Sistemas de información de gestión de relaciones con el cliente.*

Para gestionar las interacciones con los clientes, incluyendo la gestión de contactos, el seguimiento de ventas, el análisis de datos de clientes y la automatización de procesos de marketing, los sistemas de información de gestión de relaciones con el cliente son esenciales integrándose diferentes procesos, entre ellos la gestión de ventas, marketing, atención al cliente y gestión de datos de clientes para que las empresas tengan una visión completa de sus clientes y mejorar la interacción en términos de calidad, aumentando los ingresos y gestionando de manera eficiente el talento humano.

6) *Sistemas de información de gestión de la cadena de suministro.*

Para el flujo de bienes y servicios desde los proveedores a los clientes, existen los sistemas de información de gestión de la cadena de suministro, facilitando la planificación, rastreo y gestión del inventario, apoyando la entrega de pedidos y coordinando la producción de los productos, además, permiten a las empresas optimizar los recursos, reduciendo costos, mejorar la calidad y la eficiencia para responder con flexibilidad a los cambios en la demanda y el entorno empresarial.

7) *Sistemas de información geográfica.*

Por último, se encuentran los sistemas de información geográfica que permiten la recopilación, almacenamiento, análisis y visualización de datos geográficos. Estos datos pueden incluir información sobre la ubicación de objetos, eventos, fenómenos naturales, infraestructura y más.

Son utilizados en la planificación urbana, gestión de recursos naturales, agricultura, gestión de emergencias, cartografía, arqueología y más, facilitan la integración de datos de diferentes fuentes para identificar tendencias y apoyar decisiones.



Fig. 1. Toma de Decisiones.

B. *Objetivo Especifico: Relación de las herramientas de software con la gestión organizacional.*

Después de analizar y comprender los diferentes tipos de sistemas de información y entender como apoyan en la planeación estratégica de las organizaciones, revisaremos el diverso mundo de las soluciones de software utilizado para la transformación digital, abarcando una amplia gama de herramientas y tecnologías que ayudan a las empresas a adaptarse a un entorno digital en constante evolución.

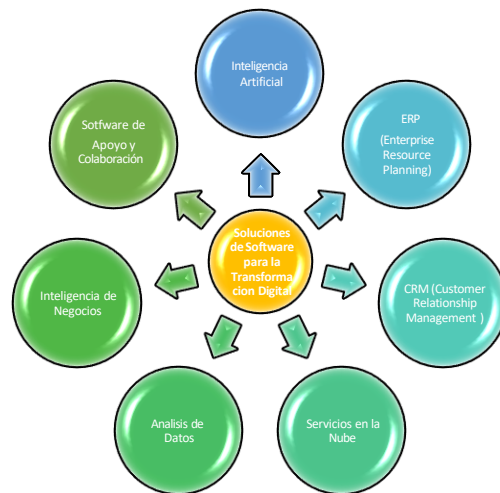


Fig. 2. Soluciones Software
Inicialmente, encontramos los ERP (Enterprise Resource

Planning) que son sistemas de software integrado que se utiliza para gestionar y automatizar los procesos empresariales, esta integrado por módulos que apoyan los procesos de la empresa, como contabilidad, inventarios, compras, ventas, producción y recursos humanos.

Los ERP tiene como objetivo principal suministrar una plataforma centralizada y unificada para la gestión de los procesos empresariales, permitiendo que mejorar que se enaltezca de manera asertiva la toma de decisiones y un incremento de producción. Las ventajas más representativas de un ERP, es que se pueden automatizar tareas repetitivas, reducir errores y evitar la duplicidad de datos obteniendo información en tiempo real sobre el rendimiento y la rentabilidad del negocio.

Además, son personalizables y escalables, permitiéndose adaptar a las necesidades específicas de la organización y agregar nuevas funcionalidades a medida que crecen y evolucionan.

Como parte de las soluciones de Software para la transformación digital encontramos los CRM (Customer Relationship Management) que son sistemas de gestión y tienen como objetivo administrar y mejorar las relaciones con los clientes. Su funcionalidad se centra en la recopilación, organización y análisis de la información para comprender las necesidades, comportamientos y preferencias de los compradores, y así poder ofrecerles experiencias de compra más personalizadas.

Así mismo, entre sus módulos suele incluir la gestión de contactos, seguimiento de interacciones con los clientes, automatización de procesos de ventas y marketing, análisis de datos y generación de informes, facilitando en las empresas la centralización de información de los clientes, segmentándolos según sus comportamientos e identificando oportunidades de negocio.

Por otra parte, la gran cantidad de datos que existe actualmente llevo a las organizaciones a beneficiarse de sus análisis, es así, que surgen la analítica de datos, facilitando el estudio de grandes volúmenes de datos obteniendo información importante que apoye la toma de decisiones.

Como resultado, surgieron las plataformas de analítica que facilitan el proceso de examinar los conjuntos de datos obteniendo conclusiones para tomar decisiones informadas. La analítica de datos tiene tres enfoques principales, que son: el análisis descriptivo, el predictivo y el prescriptivo, según la necesidad de los procesos empresariales estos enfoques se pueden aplicar para solucionar problemas determinantes en las organizaciones.

Las ventajas más relevantes de su aplicación en la transformación digital es obtener una comprensión más profunda de su negocio, identificar oportunidades y mitigar

riesgos tratando de adelantarse a situaciones que pueden poner en peligro la estabilidad empresarial de las entidades.

De acuerdo con lo anterior, surge el concepto de inteligencia de negocios (BI) que busca recopilar, analizar y visualizar datos de una manera clara para tomar decisiones informadas. Una de las características más representativas es el empleo de informes o desbordadas que proporcionan información valiosa sobre el rendimiento de la empresa.

Avanzando en nuestro razonamiento, encontramos la necesidad de mejorar eficiencia de la productividad y para ello se generan las herramientas de automatización de procesos que busca automatizar tareas repetitivas, liberando al personal para la consecución de actividades más relevantes para la organización.

Además, estas herramientas permiten modelar, ejecutar y supervisar flujos de trabajo, mejorando la supervisión y reduciendo los errores, entre sus ventajas se encuentra la interoperabilidad, que permite la conexión entre diferentes sistemas para el intercambio de datos empresariales, la reducción de costos operativos, el aprovechamiento del tiempo y la capacidad de adaptación a los cambios en el entorno empresarial.

Al respecto, surge una metodología que prácticamente soporta la automatización de procesos empresariales en la actualidad, ella es, el estándar como BPMN (Business Process Model and Notation) que facilita el diseño, modelado, automatización, ejecución y monitoreo de los procesos con el objetivo de mejorar la calidad y buscar la satisfacción del cliente.

De igual modo, encontramos los softwares de gestión de proyectos y colaboración que permiten el diseño, la planificación, ejecución y seguimiento de proyectos, fomentando la colaboración y el trabajo en equipo. En sus funcionalidades se encuentra la facilidad de crear cronogramas, asignar tareas, seguimiento de las actividades y gestión de los riesgos de un proyecto.

Algunas herramientas de software de gestión de proyectos y colaboración incluyen Microsoft Project, Trello, Jira, entre otros, las cuales son utilizadas por todo tipo de empresas para la gestión de proyectos.

Prosiguiendo nuestro análisis, se destacan las plataformas de nube, que son ambientes de desarrollo y producción de aplicaciones que se encuentran alojadas en la infraestructura de un proveedor de servicios en la nube, proporcionando a las organizaciones una amplia cantidad de funcionalidades que permiten el despliegue y administración de los diferentes componentes tecnológicos de las empresas y que su principal característica es ser gestionadas a través de internet.

Algunas de las ventajas del uso de plataformas de nube se encuentran en la capacidad de procesamiento, almacenamiento

que permiten la escalabilidad y la portabilidad de los servicios, además, la facilidad de integración de los diferentes sistemas independientemente de sus características y funcionalidades, adicionalmente su alta disponibilidad y la estructuración de procesos de continuidad, sin embargo, su implementación suele ser costosa debido a la cantidad de recursos que ofrecen los proveedores de nube.

Por último, encontramos la inteligencia artificial (IA), que actualmente ha tomado gran importancia los procesos de transformación digital, este concepto se refiere a la capacidad de las máquinas para aprender y realizar actividades que normalmente requieren inteligencia humana.

La implementación de inteligencia artificial tiene muchas ventajas en las organizaciones, entre ellas, la automatización de procesos mejorando la eficiencia de las actividades empresariales, el análisis de grandes cantidades de datos extrayendo información valiosa para la organización, predicción del comportamiento del cliente y personalización de la experiencia de mercado, utilización de chatbots y asistentes virtuales para mejorar la relación con los clientes y por último, la optimización de la cadena de suministro para mejorar la planificación, el inventario y la logística.

Estas son solo algunas de las categorías de software que pueden ser fundamentales para la transformación digital. Cada organización deberá evaluar sus necesidades específicas y seleccionar las herramientas que mejor se adapten a sus objetivos y estrategias de transformación digital.

C. Objetivo Especifico: Recomendaciones de implementación de herramientas software en un proceso de transformación digital y gestión organizacional.

Para la implementación con éxito de soluciones de software para la transformación digital de las organizaciones, inicialmente se deben identificar las necesidades específicas de la organización, conociendo las fortalezas y debilidades y demandas en cuanto al recurso humano, estructuración de procesos e infraestructura tecnológica para escoger la solución de software más alienada con los objetivos estratégicos de la empresa.

Estas necesidades pueden ir desde la adecuación de nuevos procesos hasta la capacitación de personal idóneo que permita una eficiencia operativa mejorada y una adaptación a los cambios del entorno empresarial más rápida. Este conocimiento de la empresa permitirá escoger las soluciones de software más apropiadas para generar la transformación digital que se requiera.

Después de conocer las necesidades de la organización y escoger las herramientas tecnológicas que apoyara el proceso de transformación, es importante realizar una planificación detallada, para ello se debe establecer un plan que abarque todos los aspectos relevantes para una implementación efectiva,

teniendo en cuenta la definición de los objetivos, el alcance y los requisitos hasta la asignación de recursos, cronograma de actividades y una adecuada gestión del riesgo para identificar los obstáculos que puedan surgir durante la implementación del software.

Otro aspecto para tomar en cuenta es la participación de los interesados, la cual implica una participación de todas las partes relevantes en un proyecto de implementación de soluciones de software, se busca que los usuarios finales, la gerencia, los equipos de TI y cualquier otra persona afectada por la implementación del software conozca las ventajas y defienda el éxito del proyecto, además de conocer sus puntos de vista y aportes dando un valor agregado al proceso de adopción. Hacer partícipe a las partes interesadas en proceso de cambio fomentado un sentido de propiedad y compromiso. Permitir la participación y el trabajo en equipo para superar resistencias a diferentes cambios que se puedan originar y asegurar una implementación exitosa[20].

Así mismo, la capacitación hace parte de los factores a tomar en cuenta para la implementación exitosa de software y la transformación digital, se refiere al proceso de proporcionar a los usuarios finales del software las habilidades y conocimientos necesarios para utilizar el sistema de manera efectiva.

Para alcanzar el objetivo propuesto se debe abordar no solo el uso básico del software, sino también aspectos más avanzados y específicos relacionados con las necesidades y procesos de la organización. Uno de los enfoques más utilizados para la capacitación de usuarios es el conocido como capacitar al capacitador, el cual consiste en entrenar a un grupo selecto de usuarios expertos o colaboradores, para que luego transmitan el conocimiento a otros usuarios.

Es así, como la capacitación hace parte de las estrategias utilizadas para gestionar el cambio organizacional. En las empresas la resistencia al cambio puede afectar negativamente la implementación de la transformación digital, por la falta de comprensión de los beneficios, a adoptar nuevos procesos o falta de habilidades digitales de los trabajadores.

Por lo tanto, es importante que las organizaciones aborden la resistencia al cambio de manera proactiva, involucrando a los empleados en el proceso de transformación digital, proporcionando capacitación y apoyo, comunicando claramente los beneficios.

Por último, se debe determinar un proceso de evaluación continua que implique un análisis del funcionamiento del software, si ha cumplido con las expectativas identificando acciones correctivas u oportunidades de mejora, además, determinar si el sistema se puede integrar con otros procesos o actividades de la organización

III. CONCLUSIONES

En conclusión, las soluciones de software son fundamentales para la transformación digital en una organización. Permiten una mejor transparencia, una toma de decisiones más informada y eficiente, la prevención de delitos y la mejora en la prestación de servicios.

Además, son una herramienta crucial para los ejecutivos y altos directivos, ya que les permiten acceder a información en tiempo real sobre el desempeño de la organización y el entorno competitivo.

Entre las soluciones de software más importantes se encuentran los sistemas de gestión de relaciones con el cliente, los sistemas de gestión de la cadena de suministro, los sistemas de información geográfica, las herramientas de automatización de procesos, los softwares de gestión de proyectos y colaboración, las plataformas de nube, la analítica de datos y la inteligencia artificial.

Por último, cada organización debe evaluar sus necesidades específicas y seleccionar las herramientas que mejor se adapten a sus objetivos y estrategias de transformación digital.

La implementación de estas herramientas puede mejorar la eficiencia de las actividades empresariales, el análisis de grandes cantidades de datos, la predicción del comportamiento del cliente y la personalización de la experiencia de mercado, entre otros beneficios.

IV. REFERENCIAS

- [1] E. Muñoz-Guevara, G. Velázquez-García, and J. F. Barragán-López, "Análisis sobre la evolución tecnológica hacia la Educación 4.0 y la virtualización de la Educación Superior," *Transdigital*, vol. 2, no. 4, Dec. 2021, doi: 10.56162/transdigital86.
- [2] C. Galván and C. Garrido, "COVID-19 and the Digital Transformation," *Pag*, vol. 51, no. 09, p. 2022, doi: 10.48082/espacios-a22v43n09p04.
- [3] M. Felipe, P. Castro, ; Shirley, and Y. Orellana Contreras, "Los sistemas de información y su importancia en la transformación digital de la empresa actual Information systems and their importance in the digital transformation of the current company."
- [4] M. I. Morales Pulido and L. Velázquez Ugalde, "La transformación digital como herramienta para la innovación en una PyME de seguridad tecnológica," *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, vol. 4, no. 2, Aug. 2023, doi: 10.56712/latam.v4i2.976.
- [5] A. Febles Estrada, "revista cubana de transformación digital editorial La ingeniería de software y la agilidad como impulsores de la Transformación Digital Software Engineering and Agility as Drivers of Digital Transformation", doi: 10.5281/zenodo.5545910.
- [6] "492_NT_8447_Nuevas metodologías (2)".
- [7] L. M. Castro-Benavides, J. A. Tamayo-Arias, and D. Burgos, "Escenarios de la docencia frente a la transformación digital de las Instituciones de Educación Superior," *Education in the Knowledge Society (EKS)*, vol. 23, p. e27866, Nov. 2022, doi: 10.14201/eks.27866.
- [8] R. Ahomed, "Revisión de literatura sobre las barreras a la transformación digital y su relación con el rendimiento financiero," *Interfases*, pp. 31–38, 2020, doi: 10.26439/interfases2020.n013.5026.
- [9] J. S. Peña Gómez and C. Asdraldo Vargas, "Transformación digital en sistemas de gestión de calidad en empresas tecnológicas," *Ingeniería Solidaria*, vol. 18, no. 1, pp. 1–29, Jun. 2022, doi: 10.16925/2357-6014.2022.01.04.
- [10] Ó. Tobar Rosero, E. Pérez González, J. F. Botero Vega, and G. Zapata

- Madrigal, "Subestaciones digitales y ciberseguridad como factores claves en la transformación digital del sector eléctrico colombiano," *Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería - ACOFI*, Sep. 2023, pp. 1–12. doi: 10.26507/paper.3277.
- [11] D. B. Baculima Japón, J. Tinto Arandes, and J. L. Baculima Japón, "Factores clave para la implementación de transformación digital en empresas textiles, confecciones del cantón Cuenca," *Pacha. Revista de Estudios Contemporáneos del Sur Global*, vol. 4, no. 12, p. e230224, Oct. 2023, doi: 10.46652/pacha.v4i12.224.
 - [12] Y. S. Espinosa Díaz and O. Y. Duque Cruz, "Reformulación estratégica mediante la transformación digital en tiempos de crisis: empresas de Barrancabermeja," *Apuntes Contables*, no. 30, pp. 141–164, Jun. 2022, doi: 10.18601/16577175.n30.10.
 - [13] F. Jurado Pruna, E. Escobar Redín, and J. Carrión Jumbo, "seguridad de la información de las microempresas en el Ecuador," *REVISTA CIENTÍFICA ECOCIENCIA*, vol. 8, pp. 48–64, Dec. 2021, doi: 10.21855/ecociencia.80.600.
 - [14] M. Hauser, S. A. Günther, C. M. Flath, and F. Thiesse, "Towards Digital Transformation in Fashion Retailing: A Design-Oriented IS Research Study of Automated Checkout Systems," *Business and Information Systems Engineering*, vol. 61, no. 1, pp. 51–66, Feb. 2019, doi: 10.1007/s12599-018-0566-9.
 - [15] J. A. L. Magdaleno and J. M. R. Parra, "Organizational innovation and its influence on electronic commerce," *TECHNO Review. International Technology, Science and Society Review / Revista Internacional de Tecnología, Ciencia y Sociedad*, vol. 11, 2022, doi: 10.37467/revtechno.v11.4481.
 - [16] G. A. Morales Peña, J. Fabricio, and F. Morán, "La innovación tecnológica: creando competitividad en las empresas desarrolladoras de software Technological innovation: creating competitiveness in software development companies", doi: 10.31095/podium.202.
 - [17] C. Manterola, P. Astudillo, E. Arias, and N. Claros, "Revisión sistemática de la literatura. Qué se debe saber acerca de ellas," *Cir Esp*, vol. 91, no. 3, pp. 149–155, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.ciresp.2011.07.009.
 - [18] E. F. Quispe De La Cruz, "Efectividad de la implementación del gobierno electrónico y digital en la gestión institucional de gobiernos regionales," *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 6, no. 5, pp. 2079–2094, Oct. 2022, doi: 10.37811/cl_rcm.v6i5.3239.
 - [19] B. Ngwenya, "Application of Decision Support Systems and Its Impact on Human Resources Output: A Study of Selected Universities in Zimbabwe," *Journal of Computer Sciences and Applications*, vol. 1, no. 3, pp. 46–54, May 2013, doi: 10.12691/jcsa-1-3-4.
 - [20] J. C. Sandoval Pérez, M. F. García Chuquimarca, E. J. Santamaría Cusco, and E. J. Santamaría Freire, "La eficiencia de la gestión del cambio en las empresas," *Visionario Digital*, vol. 5, no. 4, pp. 88–108, Oct. 2021, doi: 10.33262/visionariodigital.v5i4.1915.

Andrea Cristina Martínez Ardila es Ingeniera de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander y magíster en Gestión de la Tecnología Educativa de la Universidad de Santander. Actualmente se desempeña como profesora en la Universidad Cooperativa de Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3828-5593>

Pedro Alberto Arias Quintero es Ingeniero de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander y magíster en Informática de la Universidad Industrial de Santander. Actualmente se desempeña como profesor en la Universidad Cooperativa de Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2039-4003>.

Jordan Alexis Paez Navarro es Ingeniero de Sistemas de la Universidad Cooperativa de Colombia. CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generaCurriculoCv.do?cod_rh=0001995676



ARTÍCULO RETIRADO

Diseño de una aplicación móvil como herramienta de apoyo para diligenciar la historia clínica UAN Sede Cúcuta

M. C. Mogollón Goyeneche; J. A. Salina Mora; J. A. Ramírez S; J. A. Rolón Barroso; S. A. Montagut Torres.

Estado anterior: Preprint — en proceso de publicación.

Fecha de retiro: 22 de mayo de 2026.

AVISO DE RETIRO EDITORIAL

El Comité Editorial de Scientia et Technica informa que el preprint del artículo arriba identificado ha sido retirado de la plataforma OJS por decisión editorial, de conformidad con las directrices del Comité de Ética en Publicación (COPE, Retraction Guidelines, Versión 3, agosto de 2025).

Causas del retiro:

- Los autores no completaron la información biográfica requerida para la publicación formal (ORCID, CvLAC y demás campos obligatorios).
- Los autores no entregaron los ajustes finales del manuscrito solicitados por el equipo editorial.
- Se agotó la comunicación con los autores pese a múltiples contactos realizados por la revista dentro de los plazos establecidos.
- El artículo no cumplió los criterios editoriales de la etapa final de publicación, pese a haber superado satisfactoriamente la fase de arbitraje.

Este aviso queda publicado de forma permanente en la plataforma en reemplazo del preprint retirado, con el fin de mantener la transparencia e integridad del registro científico de la revista. El retiro no implica cuestionamiento a la calidad académica del trabajo ni constituye sanción para los autores.



Universidad
Tecnológica
de Pereira

Conforme al estándar COPE para avisos de retiro de iniciativa editorial, el presente aviso es firmado por el editor de la revista.



Jimy
Alexander
Cortés Osorio

Firmado digitalmente
por Jimy Alexander
Cortés Osorio
Fecha: 2026.05.22
17:38:57 -05'00'

Jimy Alexander Cortés Osorio

Editor(a) en Jefe

Scientia et Technica

Universidad Tecnológica de Pereira — Pereira, Colombia

22 de mayo de 2026



Universidad
Tecnológica
de Pereira



Universidad Tecnológica de Pereira



Universidad Tecnológica de Pereira



Universidad Tecnológica de Pereira

Aplicaciones de los compuestos de carbón activado e hidroxiapatita en la remoción de iones metálicos en aguas contaminadas: Una revisión bibliográfica.

Applications of activated carbon and hydroxyapatite compounds in the removal of metallic ions from contaminated water: A literature review.

M. Soto Gonzalez  ; M. V. Suarez León  ; N. Alzate Acevedo  ; N. V. Naranjo Castaño  ; E. Restrepo Parra .

DOI: <https://doi.org/10.22517/23447214.25389>.

Review Article

Abstract— Water contamination by heavy metal ions and other metallic species is a global environmental problem that requires efficacious solutions. This literature review article examines the use of activated carbon compounds and hydroxyapatite for the removal of metal ions in polluted waters. Key aspects such as the synthesis methods of these compounds, their adsorption capacity, and the mechanisms of metal ion removal are thoroughly analyzed. Additionally, the advantages and limitations of these compounds are discussed, along with their potential for large-scale application in water purification. It is concluded that activated carbon compounds and hydroxyapatite show promise for the elimination of metal ions, and future research areas are suggested to optimize their efficiency and applicability. This article provides an updated overview of the topic and is relevant for researchers and professionals involved in water management and environmental protection.

Index Terms— Activated carbon; Contaminated water; Hydroxyapatite; Literature review; Removal of metal ions, .

Resumen—La contaminación del agua por metales pesados y otros iones metálicos es un problema ambiental global que requiere soluciones efectivas. En este artículo de revisión bibliográfica se analiza el uso de compuestos de carbón activado e hidroxiapatita para la remoción de iones metálicos en aguas contaminadas. Se examinan aspectos clave como los métodos de síntesis de estos compuestos, su capacidad de adsorción y los mecanismos de remoción de iones metálicos. Además, se discuten las ventajas y limitaciones de estos compuestos, así como su potencial para su aplicación a gran escala en la purificación del agua. Se concluye que los compuestos de carbón activado e hidroxiapatita son prometedores para la eliminación de iones metálicos y se sugieren áreas de investigación futura para optimizar su eficiencia y aplicabilidad. Este artículo proporciona una visión general actualizada del tema y es relevante tanto para investigadores como para profesionales involucrados en la gestión del agua y la protección del medio ambiente.

Palabras claves— Aguas contaminadas; Carbón activado; Hidroxiapatita, Remoción de iones metálicos, Revisión bibliográfica.

I. INTRODUCTION

Uno de los principales problemas a nivel mundial es la contaminación que presentan las fuentes hídricas del planeta, debido en mayor medida a los desechos que generan las industrias de la minería, el petróleo, gas, farmacéutica, de fusión del plomo, agrícolas, automotriz, entre muchas otras. Este tipo de industrias enriquecen el agua con metales como Pb, Cr, Cd, Cu, Zi y Ni excediendo los límites permitidos para el consumo, ya que la mayoría de estos iones son tóxicos, no biodegradables y se bioacumulan en los sistemas vivos, lo que puede causar enfermedades peligrosas para plantas, animales y humanos [1]–[6]. Es debido a esto que, la contaminación del agua por metales pesados y otros iones metálicos representa un desafío ambiental significativo en todo el mundo. La presencia de estos contaminantes puede tener efectos adversos en la salud humana y en los ecosistemas acuáticos. En los últimos años, ha habido un creciente interés en desarrollar tecnologías eficientes para la remoción de iones metálicos en aguas contaminadas [7]–[9].

Es por esto por lo que, se le ha atribuido mucha importancia a la eliminación de estos iones metálicos presentes en las fuentes hídricas, a través, de diferentes métodos; entre los que se encuentran precipitación química, intercambio iónico, electrocoagulación, membranas de ósmosis inversa, fotocatalisis, floculación, técnicas electroquímicas [1]–[3]. Si bien estas técnicas han demostrado cierto grado de eficacia, presentan limitaciones en términos de costos, tiempo de operación, capacidad de adsorción y selectividad. La adsorción

Este manuscrito fue recibido el 20 de Septiembre de 2023. Fue aceptado el 27 de Marzo de 2025 y publicado en 19 de Diciembre de 2025. Elisabeth Restrepo-Parra, profesora de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente profesora en la misma institución. erestrepopa@unal.edu.co María Valentina Suárez León, egresada de ingeniería física de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente estudiante en la misma institución. masuarezl@unal.edu.co

Manuela Soto, egresada de ingeniería química de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Actualmente miembro de equipo en AIESEC International. msotogo@unal.edu.co Natalia Alzate Acevedo, egresada de ingeniería física de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. nalzatea@unal.edu.co Nini Valentina Naranjo Castaño, actualmente estudiante de doctorado en la Universidad Nacional de Colombia. nvnaranjoca@unal.edu.co





Fig. 1. Resultados arrojados por el buscador Tree of Science.

por otro lado es uno de los métodos más usados debido a su aplicación sencilla y los bajos costos que presenta, por lo que se han desarrollado varios tipos para remoción y eliminación de metales pesados como nanopartículas magnéticas, biomasa de algas, carbón activado, hongos, hidrogeles magnéticos, cascara de arroz y en reportes que se han dado en la última década, se ha estudiado la aplicación de hidroxiapatita como bioadsorbente [4], [10]–[15]. De igual forma, el carbón activado se presenta como un material absorbente y catalítico debido a su gran porosidad y área superficial lo que le permite principalmente eliminar olores y color en aguas contaminadas, además es aplicado en los procesos de remoción de diversos contaminantes orgánicos e inorgánicos que están disueltos en medios acuosos o gaseosos, lo que lo hace un compuesto ideal para el tratamiento de aguas residuales [16]–[19].

Además, la hidroxiapatita se presenta como un material eficaz para la adsorción de iones metálicos, debido a que tiene una buena característica amortiguadora, baja solubilidad en agua y tiene una alta estabilidad durante los procesos de oxidación, lo que lo hace un material propicio para la recuperación de iones metálicos de las aguas contaminadas [4], [11]–[14]. Estas características combinadas con el carbón activado permiten principalmente la atracción de los contaminantes metálicos hacia su superficie, donde ocurren fenómenos de adsorción física y química, lo que puede suponer una mejora por la sinergia de las propiedades de los dos compuestos y, aumenta así el rango y la adsorción de iones metálicos que pueden contaminar las fuentes hídricas [18], [20]–[22].

Dado lo anterior, el objetivo de este artículo de revisión bibliográfica es recopilar, analizar y sintetizar la literatura científica existente sobre las aplicaciones de carbón activado e hidroxiapatita al eliminar iones metálicos del agua contaminada. Se explorarán aspectos clave como los métodos de síntesis de estos compuestos, su capacidad de adsorción, los mecanismos de remoción de iones metálicos y los factores que influyen en su eficiencia. Además, se analizarán las ventajas y

limitaciones de los compuestos de carbón activado e hidroxiapatita como materiales adsorbentes. Se discutirán aspectos como su capacidad de regeneración, selectividad hacia diferentes metales y su aplicabilidad en condiciones reales.

Asimismo, se explorarán las perspectivas futuras para la aplicación a gran escala de estos compuestos en la purificación del agua. Se identificarán las áreas de investigación que requieren mayor atención, como la optimización de la composición del compuesto, el desarrollo de técnicas de regeneración más eficientes y la evaluación de su desempeño en sistemas de tratamiento de agua a nivel industrial, lo que proporcionará una visión general actualizada de las aplicaciones de los compuestos de carbón activado e hidroxiapatita en la eliminación de iones metálicos del agua contaminada.

II. METODOLOGÍA

Los criterios de búsqueda y selección de artículos para la elaboración de artículo de revisión bibliográfica sobre compuestos de carbón activado e hidroxiapatita para la eliminación de iones metálicos del agua contaminada incluyeron consideraciones importantes para asegurar la relevancia, calidad y actualidad de la información recopilada. Se utilizaron criterios como la relevancia temática, priorizando artículos que abordan directamente el tema de interés. Además, se consideró la actualidad de los estudios, priorizando investigaciones recientes para contar con la información más actualizada disponible. Se evaluó la calidad y credibilidad de los artículos, verificando la reputación de las revistas y los antecedentes de los autores.

Una vez fueron seleccionados los artículos pertinentes, se utilizaron métodos para analizar y sintetizar los datos recopilados, de esta forma se realizó un análisis temático para identificar los temas y subtemas principales abordados en los estudios seleccionados utilizando Tree of Science como herramienta web que usa la estructura de la red de citas para identificar la literatura relevante. La búsqueda de los artículos y publicaciones científicas se realizó utilizando las siguientes palabras claves: “hidroxiapatite”, “activated carbon”, “water” y “heavy metals”, a partir de lo cual se tuvo un discriminado de los artículos que se consideran las raíces, tronco y hojas de la investigación como se observa en la Fig. 1.

Posteriormente, se realizó un resumen y extracción de datos, destacando los hallazgos clave de cada estudio, incluyendo objetivos, metodología, resultados y conclusiones relevantes. Por último, se llevó a cabo un análisis comparativo para identificar similitudes, diferencias y tendencias en los resultados de los estudios seleccionados. Esto permitió resaltar los puntos de convergencia y divergencia entre los diferentes estudios. Finalmente, se realizó una síntesis y redacción de

TABLA I
MÉTODOS DE SÍNTESIS DEL CARBÓN ACTIVADO

Método de síntesis	Descripción	Parámetros de activación
Activación física	Carbonización y activación del carbonizado mediante la acción de gases oxidantes como vapor de agua, dióxido de carbono, aire, o mezclas de estos, siendo el oxígeno activo del agente activante [8]-[11].	Temperaturas entre un rango de 500 a 1200°C
Activación química	La carbonización y la activación tienen lugar en una sola etapa, llevada a cabo por la descomposición térmica de la materia prima impregnada con agentes químicos, tales como ácido fosfórico, cloruro de zinc, hidróxido de potasio o tiocianato potásico [8]-[11].	Temperaturas entre un rango de 450 a 800°C
Activación fisicoquímica	Combinación entre los procesos de activación física y activación química [8]-[11].	Temperaturas entre un rango de 500 a 1200°C

lainformación recopilada, organizando los hallazgos de manera clara y concisa, y resaltando las conclusiones más relevantes y significativas.

III. RESULTADOS

A. Síntesis del compuesto de carbón activado e hidroxiapatita

1) Síntesis del carbón activado

El carbón activado (AC) es un material de naturaleza carbonosa que se distingue por su área de superficie interna ampliamente desarrollada, su alta porosidad y su estabilidad química, contiene diversos grupos funcionales que contienen oxígeno en su estructura, y ha sido extensivamente empleado como un adsorbente en catálisis y como soporte para catalizadores, así como en procesos de purificación y separación [16], [23]. La naturaleza del material precursor de carbono, así como los métodos de síntesis y condiciones de operación del proceso para la activación son factores primordiales para las características químicas y estructura interna de los poros, por tanto, para su elaboración se requiere el uso de una materia prima que cumpla con ciertas características específicas [18], [19], [21], [22].

Esas características incluyen la disponibilidad en abundancia, una estructura porosa inherente, alta dureza, un contenido de carbono elevado, un bajo contenido de cenizas y un alto rendimiento de masa durante el proceso de carbonización, materias primas como la madera, el carbón, lignito, endocarpios y huesos de algunas frutas como el coco y las olivas, cumplen con las características mencionadas [23], [24]. La obtención del carbón activado (AC) se da por medio de la carbonización y activación del material, mediante la carbonización se reduce el contenido volátil del material a través de la pirolisis de los precursores de carbono [22], [25]–[27]. Las principales técnicas de activación que se reportan en la literatura son: activación física, activación química y activación fisicoquímica, la activación física.

Como se mencionó anteriormente la activación química se

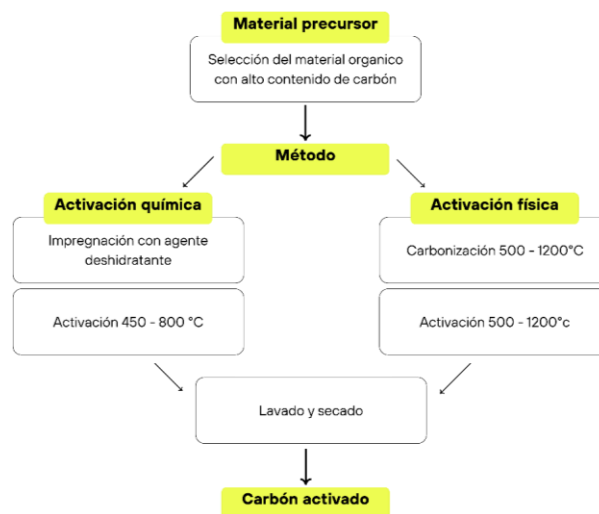


Fig. 2. Esquema general de comparación

por medio de una reacción química con un reactivo que puede ser cloruro de zinc (ZnCl₂), hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de potasio (KOH), ácido fosfórico (H₃PO₄), o carbonato de sodio (Na₂CO₃), siendo el ácido fosfórico uno de los más utilizados, puesto que se caracteriza por dos funciones muy importantes: la primera apoyar y promover la transformación pirolítica del material de partida y la segunda participar en la organización de la estructura reticulada de carbonoso material [28]. La Fig. 2. muestra un esquema general de comparación entre las variables de activación del material precursor.

2) Síntesis de la hidroxiapatita

La hidroxiapatita (HAp) es un compuesto mineral de fosfato de calcio con una estructura similar a la encontrada en la matriz inorgánica de los huesos y los dientes de humanos y vertebrados. Debido a sus propiedades bioactivas y su capacidad de sustitución e intercambio iónico, la HAp ha sido ampliamente utilizada en aplicaciones biomédicas y ambientales[11], [29]–[31]. Para obtener este compuesto existen diversas formas de síntesis que se clasifican en dos categorías principales: métodos biológicos y métodos químicos. Los métodos biológicos para la síntesis de HA aprovechan la capacidad de ciertos organismos vivos para producir y acumular este compuesto mineral. Por otro lado, los métodos químicos se basan en reacciones químicas controladas que permiten la formación de HA a partir de precursores químicos. Algunos de los métodos químicos más utilizados son la precipitación química, la hidrotermal y la sol-gel [32]–[37]. La precipitación química es uno de los métodos más simples y ampliamente utilizados para sintetizar HA. Consiste en mezclar soluciones acuosas de fosfato y calcio en condiciones específicas de pH y temperatura, lo que provoca la precipitación de HA. La relación entre los precursores y las condiciones de reacción puede influir en las propiedades de la HA resultante, como su tamaño de partícula, estequiometría y cristalinidad[30], [32], [35], [37]–[39].

El método hidrotermal implica la reacción de precursores en un reactor a altas temperaturas y presiones, generalmente por encima de los 100 °C. Estas condiciones extremas favorecen la formación y el crecimiento de cristales de HA de mayor tamaño

TABLA II
MÉTODOS DE SÍNTESIS DE LA HIDROXIAPATITA

Método de síntesis	Descripción	Posibles fuentes de obtención	Temperatura
Hidrotermal	Reacción de precursores en un reactor a altas temperaturas y presiones, favoreciendo la formación y crecimiento de cristales de HA.	Precursores inorgánicos sintéticos (fosfatos y carbonatos de calcio)	50°C – 200°C
Sol-gel	Formación de un gel a partir de precursores químicos mediante reacciones de hidrólisis y condensación, seguido de tratamientos térmicos.	Precursores inorgánicos sintéticos (fosfatos y compuestos de calcio)	Desde temperatura ambiente Hasta 75°C
Precipitación húmeda	Mezcla de soluciones acuosas de fosfato y calcio junto con otros aditivos para controlar las propiedades de la HA formada.	Precursores inorgánicos sintéticos (fosfatos y carbonatos de calcio)	Entre 75°C – 95°C
Métodos térmicos o reacción de estado sólido.	Calcinación o tratamiento térmico de precursores orgánicos o inorgánicos que contienen fosfato y calcio, lo que promueve la formación de HA.	Precursores inorgánicos sintéticos (fosfatos y carbonatos de calcio) Huesos de animales, residuos de procesamiento de alimentos, precursores inorgánicos sintéticos	400°C – 1200°C
Método hidrotérmico asistido por microondas	Utilización de microondas para acelerar el proceso de hidrotermal, reduciendo el tiempo de síntesis de HA.	Precursores inorgánicos sintéticos (fosfatos y carbonatos de calcio)	—

y mayor estabilidad térmica. Por último, el método sol-gel se basa en la formación de un gel a partir de precursores químicos que luego se somete a tratamientos térmicos para obtener HAp. El gel se forma a través de reacciones de hidrólisis y condensación de los precursores en solución. Este método permite un mayor control sobre las propiedades de la HA, como su porosidad y morfología[40]–[42]. En cuanto a las fuentes de obtención de los precursores necesarios para la síntesis de la HA, estas pueden ser de origen sintético o natural. Los precursores sintéticos, como fosfatos y carbonatos de calcio, se obtienen mediante procesos químicos a partir de materiales inorgánicos. Por otro lado, los precursores naturales se derivan de fuentes biológicas, como huesos de animales o residuos de procesamiento de alimentos, que contienen compuestos de calcio y fósforo que pueden ser transformados en hidroxiapatita a partir de tratamientos térmicos o lo que se conoce como reacción de estado sólido donde, lo que se consigue es la sinterización de polvo de hueso principalmente, debido a cambios de fase y modificaciones estructurales que suceden debido a la incidencia de la temperatura en el material[40]–[43].

3) *Síntesis del compuesto de carbón activado e hidroxiapatita*

La síntesis de un compuesto de hidroxiapatita y carbón activado representa un área de investigación en constante desarrollo debido a las propiedades únicas y complementarias de estos materiales. La hidroxiapatita, conocida por su similitud estructural con el componente mineral del hueso, exhibe propiedades bioactivas y biocompatibles que la hacen atractiva para una amplia gama de aplicaciones en medicina regenerativa y odontología. Por otro lado, el carbón activado se destaca por su alta área superficial, porosidad y capacidad de adsorción, lo que lo convierte en un material ideal para aplicaciones de purificación de agua, filtración y adsorción de contaminantes. La síntesis de un compuesto que combine las propiedades de ambos materiales ofrece un gran potencial para el desarrollo de biomateriales avanzados y sistemas de purificación eficientes. En este contexto, se busca explorar métodos de síntesis para obtener un compuesto de hidroxiapatita y carbón activado con propiedades mejoradas y características específicas para

aplicaciones medioambientales.

4) *Método de coprecipitación:*

La coprecipitación es un proceso químico en el que dos o más reactivos se precipitan simultáneamente de una solución. En el caso de la síntesis de hidroxiapatita, se utilizan dos reactivos: una fuente de calcio y una fuente de fosfato. Para la preparación del compuesto, sería necesario adicionar al proceso de síntesis de hidroxiapatita, el carbón activado a la solución previamente activado[36], [44].

5) *Método de impregnación:*

El carbón activado se sumerge o impregna en una solución que contiene los precursores de la hidroxiapatita. Luego, se somete a un proceso de secado y calcinación para obtener el compuesto de hidroxiapatita y carbón activado.

6) *Método de deposición electroquímica:*

Se utiliza un electrodo de carbón activado y se sumerge en una solución que contiene los iones necesarios para la formación de la hidroxiapatita. Mediante la aplicación de una corriente eléctrica, se induce la deposición de la hidroxiapatita sobre la superficie del carbón activado [45], [46].

7) *Método de síntesis hidrotermal:*

Se lleva a cabo una reacción en una solución acuosa que contiene los precursores de la hidroxiapatita y se añade el carbón activado. La reacción se realiza a alta temperatura y presión controladas, lo que permite la formación del compuesto de hidroxiapatita y carbón activado[30], [32], [47], [48].

Método de impregnación en fase gaseosa: Se expone el carbón activado a una atmósfera de vapor o gas que contiene los precursores de la hidroxiapatita. Los precursores se adsorben en la superficie del carbón activado y, posteriormente, se somete a un tratamiento térmico para obtener el compuesto de hidroxiapatita y carbón activado [30], [32]–[36].

B. *Capacidad de adsorción de iones metálicos*

La HA adsorbe iones principalmente a través de interacciones electrostáticas y formación de enlaces químicos. La superficie de la HA proporciona sitios activos cargados negativamente, los cuales atraen cationes metálicos y otros contaminantes cargados positivamente. Además, la presencia de grupos fosfato e hidroxilo en su estructura permite la

formación de enlaces químicos fuertes con metales, lo que aumenta la estabilidad de los complejos adsorbidos. La hidroxiapatita como intercambiador iónico lleva una carga eléctrica "excedente" que es compensada por iones de signo opuesto, los llamados contra-iones [5]. En el caso de la HAp los iones Ca^{2+} . Pueden moverse libremente en la solución y pueden ser sustituidos por otros iones [49]–[54].

Por su parte, el CA adsorbe contaminantes mediante una combinación de mecanismos físicos y químicos. La alta porosidad y área superficial del CA proporcionan sitios de adsorción, donde los contaminantes pueden ser atrapados por fuerzas de Van der Waals y fuerzas electrostáticas. Además, la presencia de grupos funcionales superficiales en el CA, como hidroxilos y carboxilos, permite interacciones químicas como la formación de puentes de hidrógeno y enlaces covalentes, mejorando la adsorción de compuestos orgánicos [24], [26], [55], [56].

C. Aplicaciones del compuesto de carbón activado e hidroxiapatita

El composito puede ser utilizado como un medio de filtración en sistemas de tratamiento de agua. Las propiedades adsorbentes del carbón activado permiten la remoción de compuestos orgánicos, productos químicos tóxicos y contaminantes orgánicos persistentes, mientras que la hidroxiapatita ayuda a eliminar remover iones metálicos tóxicos, como plomo, cobre, cadmio, arsénico, entre otros y compuestos inorgánicos. Esto hace que el composito sea efectivo para la purificación de aguas afectada por diversos contaminantes [26]–[28], [50], [57].

El composito de carbón activado e hidroxiapatita puede aplicarse para la remoción de contaminantes de diversas maneras, dependiendo del tipo de contaminante y las características del sistema de tratamiento de agua. Algunas posibles aplicaciones son:

1) Columnas de lecho fijo

El composito puede utilizarse como material de relleno en columnas de lecho fijo. El agua contaminada fluye a través de la columna y los contaminantes son adsorbidos por el carbón activado y la hidroxiapatita a medida que el agua pasa por el lecho. Este método es efectivo para la remoción de una amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos.

2) Filtros de cartucho

El composito puede ser utilizado en forma de cartuchos de filtro, que se instalan en sistemas de purificación de agua. Los cartuchos contienen el composito de carbón activado e hidroxiapatita, y el agua pasa a través del cartucho, donde los contaminantes son adsorbidos por el material del filtro. Este enfoque es particularmente útil para la remoción de contaminantes orgánicos y metales pesados.

3) Tratamiento en línea

El composito puede ser incorporado en sistemas de tratamiento de agua en línea, donde el agua fluye a través de una unidad que contiene el material adsorbente. Esto es especialmente útil en aplicaciones industriales o municipales donde se requiere una purificación continua del agua. El composito puede ser utilizado para la remoción de

contaminantes específicos, como metales pesados, compuestos orgánicos o productos químicos tóxicos.

4) Tratamiento en lotes

El composito puede ser utilizado en sistemas de tratamiento de agua en lotes, donde una cantidad específica de agua contaminada se trata por separado. El agua contaminada se mezcla con el composito en un recipiente y se agita durante un tiempo determinado para permitir la adsorción de los contaminantes. Posteriormente, el agua tratada se separa del composito y se recoge. Este método es adecuado para aplicaciones de menor escala o cuando se requiere un tratamiento puntual.

Es importante considerar que la eficacia del composito de carbón activado e hidroxiapatita en la remoción de contaminantes puede depender de factores como la concentración de los contaminantes, el tiempo de contacto, el pH del agua y otros parámetros específicos del sistema de tratamiento. Por lo tanto, es recomendable realizar pruebas y ajustes experimentales para optimizar la eficiencia de remoción en cada caso particular [1]–[6], [10]–[12], [16], [23], [24], [28], [50].

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio muestran una alta aplicabilidad tanto para el carbón activado como para la hidroxiapatita en la remoción de metales pesados en aguas contaminadas. Sin embargo, es importante destacar que existen algunas limitaciones y variaciones que se pueden presentar en la eficiencia de remoción, por tanto, se recomienda realizar estudios adicionales de su aplicabilidad como composito para determinar su alcance real. Asimismo, sería interesante investigar la combinación de diferentes adsorbentes en sistemas mixtos como el propuesto para aprovechar las ventajas de cada uno y mejorar aún más la eficiencia de remoción.

Por otra parte, a pesar de los avances en la utilización de carbón activado e hidroxiapatita en la remoción de metales pesados, aún existen lagunas en el conocimiento que requieren una mayor investigación. Por ejemplo, se necesita una mejor comprensión de la cinética de adsorción que proporciona el composito como material conformado por dos agentes adsorbentes de diferente origen. Además, es necesario investigar más a fondo la regeneración y reutilización de este adsorbente, así como evaluar su viabilidad a escala industrial.

V. CONCLUSIONES

En conclusión, esta revisión destaca el potencial del carbón activado e hidroxiapatita como adsorbentes eficientes para la remoción de metales pesados en aguas contaminadas. Ambos materiales presentan propiedades únicas, como alta porosidad y área superficial, que les confieren una capacidad de adsorción significativa. La activación química se identificó como el método preferido debido a sus ventajas en términos de temperaturas de calentamiento más bajas, tiempos de procesamiento reducidos, porosidad controlada y alto rendimiento. Asimismo, se han identificado lagunas en el conocimiento actual que deben abordarse en futuras

investigaciones. Entre ellas se encuentran la comprensión detallada de los mecanismos de adsorción y la regeneración del composito.

En general, este artículo de revisión destaca el potencial de los materiales adsorbentes, como el carbón activado e hidroxiapatita, para la remoción de metales pesados en aguas contaminadas.

REFERENCIAS

- [1] L. J. Fajardo Valderrama and F. Valderrama, "Remoción selectiva de metales pesados del agua residual Remoción selectiva de metales pesados del agua residual proveniente del proceso de decapado proveniente del proceso de decapado Citación recomendada Citación recomendada," 2014, Accessed: Jun. 29, 2023. [Online]. Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria
- [2] "Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico." http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992015000100010 (accessed Jun. 29, 2023).
- [3] "Vista de Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión | Ingeniería y Región." <https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/710/1359> (accessed Jun. 29, 2023).
- [4] E. Toribio Jiménez, "Estudio de la capacidad de los hidroxiapatitos como reactivos para la eliminación de metales," 2015, Accessed: Jun. 29, 2023. [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/26366>
- [5] D. Ivan et al., "Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión Treatments for Removal of Heavy Metals Commonly Found in Industrial Wastewater. A Review," 2015.
- [6] L. J. Fajardo Valderrama and F. Valderrama, "Remoción selectiva de metales pesados del agua residual Remoción selectiva de metales pesados del agua residual proveniente del proceso de decapado proveniente del proceso de decapado Citación recomendada Citación recomendada," 2014. [Online]. Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria
- [7] M. Elkady, H. Shokry, and H. Hamad, "Microwave-Assisted Synthesis of Magnetic Hydroxyapatite for Removal of Heavy Metals from Groundwater," *Chem Eng Technol*, vol. 41, no. 3, pp. 553–562, Mar. 2018, doi: 10.1002/ceat.201600631.
- [8] S. T. Ramesh, N. Rameshbabu, R. Gandhimathi, P. V. Nidheesh, and M. Srikanth Kumar, "Kinetics and equilibrium studies for the removal of heavy metals in both single and binary systems using hydroxyapatite," *Appl Water Sci*, vol. 2, no. 3, pp. 187–197, 2012, doi: 10.1007/s13201-012-0036-3.
- [9] A. Avram, T. Frentiu, O. Horovitz, A. Mocanu, F. Goga, and M. Tomoaia-Cotisel, "Hydroxyapatite for removal of heavy metals from wastewater," *Studia Universitatis Babes-Bolyai Chemia*, vol. 62, no. 4, pp. 93–104, 2017, doi: 10.24193/subchem.2017.4.08.
- [10] M. S. Fernando, R. M. De Silva, and K. M. N. De Silva, "Synthesis, characterization, and application of nano hydroxyapatite and nanocomposite of hydroxyapatite with granular activated carbon for the removal of Pb²⁺ from aqueous solutions," *Appl Surf Sci*, vol. 351, pp. 95–103, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.apsusc.2015.05.092.
- [11] A. Vahdat, B. Ghasemi, and M. Yousefpour, "Synthesis of hydroxyapatite and hydroxyapatite/Fe₃O₄ nanocomposite for removal of heavy metals," *Environ Nanotechnol Monit Manag*, vol. 12, p. 100233, Dec. 2019, doi: 10.1016/J.ENMM.2019.100233.
- [12] M. S. Fernando, R. M. De Silva, and K. M. N. De Silva, "Synthesis, characterization, and application of nano hydroxyapatite and nanocomposite of hydroxyapatite with granular activated carbon for the removal of Pb²⁺ from aqueous solutions," *Appl Surf Sci*, vol. 351, pp. 95–103, Oct. 2015, doi: 10.1016/J.APSUSC.2015.05.092.
- [13] A. Avram, T. Frentiu, O. Horovitz, A. Mocanu, F. Goga, and M. Tomoaia-Cotisel, "Hydroxyapatite for removal of heavy metals from wastewater," *Studia Universitatis Babes-Bolyai Chemia*, vol. 62, no. 4, pp. 93–104, 2017, doi: 10.24193/subchem.2017.4.08.
- [14] A. A. Hamad, M. S. Hassouna, T. I. Shalaby, M. F. Elkady, M. A. Abd Elkawi, and H. A. Hamad, "Electrospun cellulose acetate nanofiber incorporated with hydroxyapatite for removal of heavy metals," *Int J Biol Macromol*, vol. 151, pp. 1299–1313, May 2020, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.10.176.
- [15] A. Vahdat, B. Ghasemi, and M. Yousefpour, "Synthesis of hydroxyapatite and hydroxyapatite/Fe₃O₄ nanocomposite for removal of heavy metals," *Environ Nanotechnol Monit Manag*, vol. 12, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.enmm.2019.100233.
- [16] C. Carolina and C. Quijano, "Producción de carbón activado y sílice a partir de cascarilla de arroz - una revisión," *Scientia Et Technica*, vol. 18, no. 2, pp. 422–429, 2013, Accessed: Jun. 29, 2023. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84929153019>
- [17] Y. Gao, Q. Yue, B. Gao, and A. Li, "Insight into activated carbon from different kinds of chemical activating agents: A review," *Science of the Total Environment*, vol. 746, Elsevier B.V., Dec. 01, 2020. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141094.
- [18] I. A. W. Tan, A. L. Ahmad, and B. H. Hameed, "Preparation of activated carbon from coconut husk: Optimization study on removal of 2,4,6-trichlorophenol using response surface methodology," *J Hazard Mater*, vol. 153, no. 1–2, pp. 709–717, May 2008, doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.09.014.
- [19] Y. Gao, Q. Yue, B. Gao, and A. Li, "Insight into activated carbon from different kinds of chemical activating agents: A review," *Science of the Total Environment*, vol. 746, Elsevier B.V., Dec. 01, 2020. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141094.
- [20] I. A. W. Tan, A. L. Ahmad, and B. H. Hameed, "Adsorption of basic dye on high-surface-area activated carbon prepared from coconut husk: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies," *J Hazard Mater*, vol. 154, no. 1–3, pp. 337–346, Jun. 2008, doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.10.031.
- [21] J. H. Tay, X. G. Chen, S. Jeyaseelan, and N. Graham, "Optimising the preparation of activated carbon from digested sewage sludge and coconut husk."
- [22] C. A. Achury and C. Aden, "OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CÁSCARA DE COCO: OBTENCIÓN POR MEDIO DE ACTIVACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA."
- [23] M. V. Vidal, A. Rodríguez Suarez, K. M. Barrios, J. Ocampo Pérez, and W. B. Lara, "Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión," *Scientia et Technica*, ISSN 0122-1701, Vol. 23, No. 3, 2018, págs. 411-419, vol. 23, no. 3, pp. 411–419, 2018, Accessed: Jun. 29, 2023. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6760221&info=resumen&idioma=SPA>
- [24] M. Bastidas, L. M. Buelvas, M. I. Márquez, and K. Rodríguez, "Producción de Carbón Activado a partir de Precursores Carbonosos del Departamento del Cesar, Colombia," *Información tecnológica*, vol. 21, no. 3, pp. 87–96, 2010, doi: 10.4067/S0718-

- 07642010000300010.
- [25] A. P. Ramírez, S. Giraldo, E. Flórez, and N. Acelas, "Preparation of activated carbon from palm oil wastes and their application for methylene blue removal," *Revista Colombiana de Química*, vol. 46, no. 1, pp. 33–41, Jan. 2017, doi: 10.15446/REV.COLOMB.QUIM.V46N1.62851.
- [26] G. J. F. Cruz Cerro, M. V. Yucra, J. S. Contreras, J. L. Solís Veliz, M. M. Gómez León, and R. Keiski, "ESTUDIO DE CARBONES ACTIVADOS IMPREGNADOS CON QUITOSANO Y SU COMPARACIÓN CON CARBONES COMERCIALES," 2016.
- [27] D. Luna, A. González, M. Gordon, and N. Martín, "Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco."
- [28] M. Zięzio, B. Charmas, K. Jedynek, M. Hawryluk, and K. Kucio, "Preparation and characterization of activated carbons obtained from the waste materials impregnated with phosphoric acid(V)," *Applied Nanoscience (Switzerland)*, vol. 10, no. 12, pp. 4703–4716, Dec. 2020, doi: 10.1007/S13204-020-01419-6/TABLES/4.
- [29] R. De Janeiro, "Preparação E Caracterização De Hidroxiapatita," 2006.
- [30] H. Melero, J. Fernández, and J. M. Guilemany, "Recubrimientos bioactivos: Hidroxiapatita y titania," *Biomecánica*, vol. 19, pp. 35–48, 2011, [Online]. Available: <http://upcommons.upc.edu/revistes/handle/2099/12325>
- [31] S. I. Eguía Eguía, "ESTUDIO MICROESTRUCTURAL DE PARTÍCULAS DE HIDROXIAPATITA CRECIDAS SOBRE GELES DE SÍLICE," Universidad Autónoma de Nuevo León, 2009. [Online]. Available: <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=ESTUDIO+MICROESTRUCTURALDE+PART%13ICULAS+DEHIDROXIAPATITA+CRECIDASSOBRE+GELES+DE+S%13ILICE>
- [32] Y. J. Mata Cocoltzi, "Caracterización estructural, microestructural y química durante el proceso para obtener Hidroxiapatita a partir de hueso de bovino," Thesis, p. 101, 2016.
- [33] E. Peón, A. Jiménez Morales, E. Fernández-Escalante, M. C. García-Alonso, M. L. Escudero, and J. C. Galván, "Recubrimientos de hidroxiapatita preparados mediante un proceso sol-gel," *Revista de Metalurgia*, vol. 41, no. Extra, pp. 479–482, 2005, doi: 10.3989/revmetalm.2005.v41.iextra.1080.
- [34] C. Peniche, Y. Solís, N. Davidenko, and R. García, "Materiales compuestos de quitosana e hidroxiapatita," *Biotecnología Aplicada*, vol. 27, no. 3, 2010.
- [35] S. I. Eguía, "Estudio microestructural de partículas de hidroxiapatita crecidas sobre geles de sílice," *Universida Autonoma de Nuevo leon*, vol. 1, p. 65, 2019.
- [36] J. L. A. T. FUENTES, "Obtención y caracterización de hidroxiapatita porosa a partir de cáscara de huevo y tunicia," 2010.
- [37] M. I. Ochoa Gómez, "Síntesis Y Caracterización De Polvos De Hidroxiapatita Carbonatada Tipo B Con Diferentes Contenidos De Carbonato," *Revista Colombiana de Materiales*, no. 17, pp. 22–32, 2021, doi: 10.17533/udea.rcm.n17a03.
- [38] Y. G. Morales, "SÍNTESIS, CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA BIOACTIVIDAD DE BIOMATERIALES COMPUESTOS DE HIDROXIAPATITA CARBONATADA/HIDROXIAPATITA ESTEQUIOMÉTRICA DE ALTA CRISTALINIDAD," Universidad de Sonora, 2019.
- [39] C. A. Carvalho Zavaglia, R. F. Silva, S. A. Santos, and C. R. Pellicari de Lima, "Caracterización de recubrimientos de hidroxiapatita depositadas sobre la aleación Ti6Al7Nb a través de aspersión térmica a plasma," *Biomecánica*, vol. 8, no. 1, pp. 49–53, 2000, doi: 10.5821/sibb.v8i1.1646.
- [40] P. A. F. Sossa, B. S. Giraldo, B. C. G. Garcia, E. R. Parra, and P. J. A. Arango, "Comparative study between natural and synthetic Hydroxyapatite: structural, morphological and bioactivity properties," *Matéria (Rio de Janeiro)*, vol. 23, no. 4, Dec. 2018, doi: 10.1590/s1517-707620180004.0551.
- [41] S. Marković et al., "Synthetical bone-like and biological hydroxyapatites: A comparative study of crystal structure and morphology," *Biomedical Materials*, vol. 6, no. 4, 2011, doi: 10.1088/1748-6041/6/4/045005.
- [42] S. M. Londoño-Restrepo, C. F. Ramirez-Gutierrez, A. del Real, E. Rubio-Rosas, and M. E. Rodriguez-García, "Study of bovine hydroxyapatite obtained by calcination at low heating rates and cooled in furnace air," *J Mater Sci*, vol. 51, no. 9, pp. 4431–4441, 2016, doi: 10.1007/s10853-016-9755-4.
- [43] A. Heredia, I. De F, I. De F, and C. De F, "Thermal analysis study of human bone," vol. 8, pp. 4777–4782, 2003.
- [44] B. Bazan et al., "Metodologías sintéticas para la obtención de compuestos de coordinación metal-orgánicos," *Macla. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, vol. 2, no. 16, pp. 162–163, 2012, doi: 10.1021/cr200304e.fig.
- [45] R. Uribe, A. Uvillús, L. Fernández, O. Bonilla, A. Jara, and G. González, "Electrochemical Deposition of Hydroxyapatite on Stainless Steel Coated with Tantalum/Tantalum Nitride Using Simulated Body Fluid as an Electrolytic Medium," *Coatings*, vol. 12, no. 4, Apr. 2022, doi: 10.3390/coatings12040440.
- [46] S. Ban and S. Maruno, "Morphology and microstructure of electrochemically deposited calcium phosphates in a modified simulated body fluid," 1998.
- [47] K. Q. Alvarez, "Síntesis de cordierita a partir de hidroxihidrogeles bajo tratamiento hidrotermal.," pp. 1–110, 2012.
- [48] A. Ruffini, S. Sprio, L. Preti, and A. Tampieri, "Synthesis of Nanostructured Hydroxyapatite via Controlled Hydrothermal Route," *Biomaterial-supported Tissue Reconstruction or Regeneration*, May 2019, doi: 10.5772/INTECHOPEN.85091.
- [49] Pranoto, T. Martini, F. Astuti, and W. Maharditya, "Test the Effectiveness and Characterization of Quartz Sand/Coconut Shell Charcoal Composite as Adsorbent of Manganese Heavy Metal," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 858, no. 1, Jul. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/858/1/012041.
- [50] R. P., S. P., and S. S., "Preparation and characterization of activated carbons derived from palmyra waste of coastal region, in: Proceedings of International Conference on "Impact of Climate Change on Coastal Ecosystem." 2011.
- [51] M. J. Rampe, I. R. S. Santoso, H. L. Rampe, V. A. Tiwow, and A. Apita, "Infrared Spectra Patterns of Coconut Shell Charcoal as Result of Pyrolysis and Acid Activation Origin of Sulawesi, Indonesia," in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Dec. 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202132808008.
- [52] Z. M. Lazim, T. Hadibarata, M. H. Puteh, and Z. Yusop, "Adsorption characteristics of bisphenol a onto low-cost modified phyto-waste material in aqueous solution," *Water Air Soil Pollut*, vol. 226, no. 3, 2015, doi: 10.1007/s11270-015-2318-5.
- [53] V. Uskoković, "Ion-doped hydroxyapatite: An impasse or the road to follow?," *Ceram Int*, vol. 46, no. 8, pp. 11443–11465, 2020, doi: 10.1016/j.ceramint.2020.02.001.
- [54] D. N. Ungureanu, N. Angelescu, R. M. Ion, E. V. Stoian, and C. Z. Rizescu, "Synthesis and characterization of hydroxyapatite nanopowders by chemical precipitation," 10th WSEAS International Conference on EHAC'11 and ISPRA'11, 3rd WSEAS Int. Conf. on

Nanotechnology, Nanotechnology'11, 6th WSEAS Int. Conf. on ICOAA'11, 2nd WSEAS Int.Conf. on IPLAFUN'11, no. September 2015, pp. 296–301, 2011.

- [55] X. Zhang, S. Wu, Y. Liu, Z. Wang, H. Zhang, and R. Xiao, "Removal of Cr(VI) from aqueous solution by Rice-husk-based activated carbon prepared by Dual-mode heating method," *Carbon Resources Conversion*, vol. 6, no. 2, pp. 76–84, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.CRCON.2023.01.003.
- [56] X. Y. Liu et al., "Preparation of a carbon-based solid acid catalyst by sulfonating activated carbon in a chemical reduction process," *Molecules*, vol. 15, no. 10, pp. 7188–7196, Oct. 2010, doi: 10.3390/molecules15107188.
- [57] D. Luna, A. González, M. Gordon, and N. Martín, "Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco."

Natalia Alzate Acevedo es ingeniera física de la Universidad Nacional de Colombia y candidata a magíster en Ciencias - Física de la misma institución. Actualmente se desempeña como investigadora en la Universidad Nacional de Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7557-6771>

Elisabeth Restrepo-Parra es ingeniera electricista de la Universidad Tecnológica de Pereira y doctora en Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente se desempeña como profesora en la Universidad Nacional de Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1734-1173>

Manuela Soto es ingeniera química de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente se desempeña como miembro del equipo en AIESEC International. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6747-2190>

María Valentina Suárez León es ingeniera física de la Universidad Nacional de Colombia y estudiante de la maestría en Ciencias Físicas en la misma institución. Actualmente se desempeña como estudiante e investigadora en la Universidad Nacional de Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9072-8436>

Nini Valentina Naranjo Castaño es ingeniera química y magíster en Ciencias - Física de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente se desempeña como estudiante de doctorado y profesional de investigación en la Universidad Nacional de Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3514-6312>