



Prácticas investigativas de jóvenes investigadores en Sucre, Colombia **Volumen 2**



**Liliana P. Álvarez Ruiz, Moisés D. Hernández Ruiz, Karen Baldovino Noriega,
Erika Ruiz Carta**
Compiladores

Prácticas investigativas de jóvenes investigadores en Sucre, Colombia

Vol. 2

Liliana Patricia Álvarez Ruiz, Moisés D. Hernández Ruiz,
Karen Baldovino Noriega, Erika Ruiz Carta
Compiladores



Autores

*Héctor Hernández Navarro
Jorge Luis Barboza Hernández
Mario Gándara Molino
Nubia Hernández Flórez
Jonathan Jesús Anibal Sierra
Liliana Margarita Meza Cueto
Daymar Junior Navarro Villamizar
Sol Maira Carrasco Canoles
Emily Andrea Lugo Hernández
Elizabeth Abad Suárez
Meryene Cecilia Barrios Barreto
María Camila Vásquez Monterroza
Orlando José García Mojica
Dairo Alfredo Causil Zúñiga
Nathaly A. Torres Gallo*

*Daniel D. Otero Meza
Jairo Salcedo Mendoza
Jorge E. Hernández Ruydiaz
Yeison López Miranda
José Tovar Márquez
Deivys Moisés Álvarez García
Yoseth David Blanquiceth Támara
Juan José Hoyos Sebá
José David Arias Teherán
María José Tavera Quiroz
Sandra Milena Paternina Pacheco
Marivel Montes Rotela
Dayana Paola Morales Escobar
Álvaro Ángel Arrieta Almario*



2023

Este libro fue evaluado bajo el sistema doble ciego por pares académicos.

Héctor Olimpo Espinosa Oliver
Gobernador de Sucre



Corporación Universitaria del Caribe–CECAR

Rectora

Lidia Flórez de Albis

Vicerrectora Académica

María Eugenia Vides

Vicerrectora de Extensión y Relaciones Interinstitucionales

Liliana Patricia Álvarez Ruiz

Director del Centro de Consultoría

Andrés José Vergara Narváez

Directo del Proyecto Jóvenes Investigadores de Sucre

Moisés David Hernández Ruiz

Coordinador Editorial CECAR

Jorge Luis Barboza

Editorial.cecicar@cecicar.edu.co

<https://libros.cecicar.edu.co/index.php/CECAR>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2956-6070>

El libro fue financiado con recursos del SGR-FCTeI bajo el proyecto denominado “Desarrollo de capacidades y habilidades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación en jóvenes profesionales del departamento de Sucre identificado con código BPIN 2020000100213

Colección Investigación

© 2023. Prácticas investigativas de jóvenes investigadores en Sucre, Colombia, volumen 2. MINCIENCIAS, Sistema General de Regalías, Gobernación de Sucre, Estrategia de Productividad e Innovación - EPI, Corporación Universitaria del Caribe – CECAR, Universidad de Córdoba.

ISBN: 978-628-7515-40-6 (impreso)

ISBN: 978-628-7515-41-3 (digital)

DOI: <https://doi.org/10.21892/9786287515413>

Compiladora: Liliana Patricia Álvarez Ruiz, Moisés D. Hernández Ruiz, Karen Baldovino Noriega, Erika Ruiz Carta.

Autores: Héctor Hernández Navarro, Jorge Luis Barboza Hernández, Mario Gándara Molino, Nubia Hernández Flórez, Jonathan Jesús Anibal Sierra, Liliana Margarita Meza Cueto, Daymar Junior Navarro Villamizar, Sol Maira Carrasco Canoles, Emily Andrea Lugo Hernández, Elizabeth Abad Suárez, Meryene Cecilia Barrios Barreto, María Camila Vásquez Monterroza, Orlando José García Mojica, Dairo Alfredo Causil Zúñiga, Nathaly A. Torres Gallo, Daniel D. Otero Meza, Jairo Salcedo Mendoza, Jorge E. Hernández Ruydiaz, Yeison López Miranda, José Tovar Márquez, Deivys Moisés Álvarez García, Yoseth David Blanquiceth Támara, Juan José Hoyos Sebá, José David Arias Teherán, María José Tavera Quiroz, Sandra Milena Paternina Pacheco, Marivel Montes Rotela, Dayana Paola Morales Escobar, Álvaro Ángel Arrieta Almarío.

Sincelejo, Sucre, Colombia.

Prácticas investigativas de jóvenes investigadores en Sucre, Colombia Vol. 2 / compiladora, Liliana Patricia Álvarez Ruiz... [y otros tres]; autores, Héctor Hernández Navarro ... [y otros 28]. – Sincelejo : Editorial CECAR, ©2023.

251 páginas : tablas, gráficos. Colección Academia.

Incluye referencias bibliográficas al final de cada capítulo.

ISBN: 978-628-7515-40-6 (impreso)

ISBN: 978-628-7515-41-3 (digital)

1. Aprendizaje basado en la investigación. 2. Enseñanza vocacional. 3. Investigación. 4. Investigación realizada por estudiantes. 5. Investigadores.

I. Autor II. Título.

001.4092 P895pr 2023 CDD 22 ed.

CEP – Corporación Universitaria del Caribe, CECAR. Biblioteca Central –COSiCU

Contenido

1. **La sostenibilidad ambiental y los desafíos en educación en el siglo XXI: una revisión sistemática de la literatura**..... 7
Environmental Sustainability and the Challenges in Education in the 21st Century: a Systematic Review of the Literature
Héctor Hernández Navarro, Jorge Luis Barboza Hernández, Mario Gándara Molino, Nubia Hernández Flórez
2. **Salud mental en niños y adolescentes víctimas del conflicto armado: una revisión de literatura**..... 38
Mental Health in Children and Adolescents Victims of the Armed Conflict: a literature Review
Jonathan Jesús Aníbal Sierra, Liliana Margarita Meza Cueto , Daymar Junior Navarro Villamizar
3. **Gestión del conocimiento como herramienta para la competitividad turística: una revisión de literatura** 64
Knowledge Management as a Tool for Tourism Competitiveness: a Literature Review
Sol Maira Carrasco Canoles, Emily Andrea Lugo Hernández
4. **Herramientas digitales empleadas para la educación del razonamiento clínico en estudiantes de fisioterapia: revisión de literatura** 80
Digital Tools Used for the Education of Clinical Reasoning in Physiotherapy Students: a Review of the Literature
Elizabeth Abad Suárez, Meryene Cecilia Barrios Barreto
5. **Segunda revolución cuántica y el desarrollo de nuevas tecnologías** 99
Second Quantum Revolution and the Development of New Technologies
María Camila Vásquez Monterroza, Orlando José García Mojica, Dairo Alfredo Causil Zúñiga

6. **Valorización de residuos orgánicos para producir biofertilizantes: revisión bibliométrica de tendencias y avances** 121
Valorization of Organic Waste to Produce Biofertilizers: Bibliometric Review of Trends and Advances
 Nathaly A. Torres Gallo, Daniel D. Otero Meza, Jairo Salcedo Mendoza, Jorge E. Hernández Ruydiaz
7. **La diversidad de la familia Araneidae (arachnida: araneae) en Colombia: una actualización del listado de especies** 149
The Diversity of the Family Araneidae (arachnida: araneae) in Colombia: an Update of the List of Species
 Yeison López Miranda, José Tovar Márquez, Deivys Moisés Álvarez García
8. **Perspectivas agroindustriales de las variedades de yuca cultivadas en el departamento de Sucre: una revisión** 176
Agroindustrial Perspectives of Yucca Varieties Cultivated in the Department of Sucre: a Review
 Yoseth David Blanquiceth Támara, Juan José Hoyos Sebá, José David Arias Teherán, María José Tavera Quiroz
9. **Uso de tecnologías interactivas en la práctica fonoaudiológica para el lenguaje infantil** 202
Use of Interactive Technologies in Speech-Language Practice for Children's Language
 Sandra Milena Paternina Pacheco, Marivel Montes Rotela
10. **Utilización de residuos agroindustriales en la elaboración de materiales** 230
Use of Agroindustrial Waste in the Manufacture of Materials
 Dayana Paola Morales Escobar, Álvaro Ángel Arrieta Almario

En las páginas que siguen, los invitamos a sumergirse en un fascinante viaje a través del esfuerzo y la dedicación de veinte jóvenes investigadores del Departamento de Sucre. Este libro trasciende la mera recopilación de sus experiencias, es un testimonio de su inquebrantable compromiso con el conocimiento y su incansable búsqueda de respuestas en un mundo lleno de incertidumbre y desafíos.

A lo largo de un año de intenso entrenamiento, como parte del proyecto “*Desarrollo de capacidades y habilidades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación en jóvenes profesionales del Departamento de Sucre*”, a través de becas-pasantías de investigación, veinte jóvenes valientes del departamento fueron guiados de la mano experta de investigadores destacados. Estos maestros los acompañaron para convertir su pasión por la ciencia en un vehículo de cambio y progreso para nuestra comunidad.

Cada capítulo de esta obra refleja las reflexiones, inquietudes, expectativas, miedos y vivencias de estos talentosos investigadores, quienes han asumido el timón de su destino y se han convertido en voces influyentes en la construcción de un futuro más prometedor. Su contribución es fundamental para abordar la falta de desarrollo de capacidades y habilidades en Ciencia, Tecnología e Innovación (CTeI) en jóvenes profesionales de la región.

El proyecto que dio lugar a estos resultados no es solo una iniciativa; es una declaración de principios, una apuesta firme y decidida en el potencial inagotable de nuestra juventud. Se emerge como un esfuerzo de política pública en nuestro país, con el propósito de unir esfuerzos para incrementar el desarrollo de habilidades y capacidades de investigación en jóvenes profesionales, mejorar su inserción en procesos de investigación en el territorio y aumentar el número de jóvenes profesionales del Departamento de Sucre que participa en actividades de transferencia y apropiación del conocimiento en CTeI.

Este proyecto, impulsado por sucreños para sucreños, refleja la resiliencia y visión sin límites de una comunidad que se niega a conformarse con el statu quo. Es digno de mención que más de la mitad de estos investigadores son mujeres, marcando un hito significativo en la búsqueda de igualdad de género en el ámbito científico.

Presentación

Expresamos un agradecimiento especial a cada una de las instituciones que respaldaron este proyecto, como la Gobernación de Sucre, la Corporación Universitaria del Caribe - CECAR, la Universidad de Córdoba y la Universidad de Sucre – Corposucre. Estas instituciones han sido pilares fundamentales en esta empresa conjunta para empoderar a nuestra juventud y construir un futuro más prometedor. Este libro es un tributo a su visión y compromiso.

Moisés D. Hernández Ruiz
Director del Proyecto

La sostenibilidad ambiental y los desafíos en educación en el siglo XXI: una revisión sistemática de la literatura

Environmental Sustainability and the Challenges in Education in the 21st Century: a Systematic Review of the Literature

Héctor Hernández Navarro¹, Jorge Luis Barboza Hernández², Mario Gándara Molino³, Nubia Hernández Flórez⁴

Resumen

La sostenibilidad ambiental es una preocupación global que busca preservar los recursos para las generaciones futuras. A diferencia de la sustentabilidad, la sostenibilidad busca un cambio sistémico y promueve la regeneración y la resiliencia. El objetivo de esta investigación es realizar una revisión de la literatura sobre sostenibilidad ambiental en la educación superior, centrándose en el desarrollo sostenible, el impacto ambiental y el cambio climático. Para llevar a cabo este estudio, se empleó una metodología cuantitativa con un enfoque descriptivo. Se realizó un análisis bibliométrico utilizando el método Prisma, comúnmente utilizado en revisiones sistemáticas de la literatura. Esto permitió una búsqueda y análisis efectivos de los documentos seleccionados. La búsqueda se realizó en la base de datos ProQuest. Los resultados obtenidos revelan que la mayoría de

1 Licenciado en Educación Básica con Énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental. Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: hector.hernandez@cecar.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6775-2577>

2 Doctor en Educación. Magíster en Educación Superior. Licenciado en Letras. Investigador de la Corporación Universitaria del Caribe Correo: jorge.barbozah@cecar.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6743-428X>

3 Magíster en Ecología y Acuicultura Tropical. Biólogo. Docente Investigador de la Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Coordinador de Sostenibilidad Ambiental. Correo: mario.gandara@cecar.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5623-3095>

4 Doctora en Ciencias de la Educación. Universidad Cuauhtémoc, México. Máster en Avances en Investigación Tratamientos en Psicopatologías y Salud. Máster en Gestión de Calidad. Universidad Católica de Valencia, España. Especialidad Salud Mental Universidad de Valencia, España. Psicóloga Universidad de Pamplona Colombia. Investigadora de la Corporación Universitaria del Caribe. Correo: Nubia.hernandezf@cecar.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8756-1895>

las investigaciones se centran en el desarrollo sostenible. Los textos analizados abordan la importancia y las diferencias entre las variables mencionadas, así como el papel fundamental de la educación en la promoción de sociedades más sostenibles. Se enfatiza la necesidad de un enfoque integrado y colaborativo, con la participación de diversos actores, para abordar los desafíos ambientales y sociales a nivel mundial.

Palabras clave: desarrollo, sostenibilidad, cambio climático, impacto ambiental, investigación, educación

Abstract

Environmental sustainability is a global concern that seeks to preserve resources for future generations. Unlike sustainability, sustainability seeks systemic change and promotes regeneration and resilience. The objective of this research is to carry out a review of the literature on environmental sustainability in higher education, focusing on sustainable development, environmental impact and climate change. To carry out this study, a quantitative methodology with a descriptive approach was used. A bibliometric analysis was performed using the PRISMA approach, commonly used in systematic reviews of the literature. This allowed an effective search and analysis of the selected documents. The search was carried out in the ProQuest database. The results obtained reveal that most of the research focuses on sustainable development. The texts analyzed address the importance and differences between the variables, as well as the fundamental role of education in promoting more sustainable societies. The need for an integrated and collaborative approach, with the participation of various actors, to address global environmental and social challenges is emphasized.

Keywords: development, sustainability, climate change, environmental impact, research, education.

Introducción

A nivel global, existe una creciente preocupación por la preservación del medio ambiente, lo cual ha llevado a la implementación de diversas iniciativas por parte de entidades gubernamentales y privadas. Sin embargo, se ha observado que los términos “sustentabilidad” y “sostenibilidad” se utilizan indistintamente, a pesar de que presentan diferencias significativas. Según el diccionario de la lengua española, la sustentabilidad se refiere a algo que puede ser justificado o respaldado con argumentos. Por otro lado, el desarrollo sustentable implica utilizar los recursos de manera adecuada sin comprometer los de las generaciones futuras. Esto implica que los procesos sustentables tienen como

objetivo preservar, proteger y conservar tanto los recursos naturales actuales como los futuros (Organización de las Naciones Unidas, 2021).

La sustentabilidad se basa en una serie de principios que definen su concepto. Estos principios establecen que los recursos renovables deben ser utilizados de manera que no excedan su capacidad de regeneración. Además, se enfatiza la importancia de evitar la generación de sustancias contaminantes a un ritmo superior a la capacidad del medio ambiente para reciclar, neutralizar o absorberlas. Es por eso por lo que el desarrollo sostenible consiste en satisfacer las necesidades actuales, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas. En la década de los noventa, ante la falta de crecimiento económico, la agudización de la pobreza y el impacto ambiental negativo, se tomaron medidas correctivas promovidas por agencias financieras internacionales como el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo (Báez-Hernández, *et al.*, 2019).

En este sentido, cuando se hace referencia a recursos no renovables, es esencial administrarlos de tal manera que la velocidad de extracción se mantenga en línea con la velocidad de generación de alternativas renovables. En este contexto, el proceso de vinculación con la sociedad es el escenario que permite visualizar a la educación desde una perspectiva meramente social, ya que los individuos no pueden actuar independientemente del resto de la sociedad, dando cabida al inter aprendizaje de todos los actores, constituyendo uno de los objetivos fundamentales de cualquier proceso educativo, sin perder de vista que el vincularse con la sociedad deberá promover aptitudes para la promoción de la paz, la resolución de conflictos, el entendimiento mutuo y la sostenibilidad (Calles-Santoyo *et al.*, 2020).

El término “sustentabilidad” surgió oficialmente en la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, conocida como informe Brundtland (World Commission on the Environment and Development, 1987). En este sentido, el desarrollo sostenible es un concepto básico que surge para la sociedad, para tratar de resolver los problemas globales que se presentan, como lo son el cambio climático, la economía, lo social como la pobreza, la desigualdad, la educación, para garantizar una esperanza de vida para las próximas generaciones (Vazquez-Ayala, 2020).

La sostenibilidad o desarrollo sostenible es un concepto en donde se realiza una búsqueda de avances sociales y económicos que aseguren a los seres humanos una vida sana y productiva, pero que no comprometa la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades. A partir de la importancia mundial de los recursos naturales y de la necesidad de su uso racional, la sostenibilidad busca un desarrollo social que contribuya a mejorar la calidad de vida, salud, educación y cultura de todas las personas. En este sentido la mejor forma de entender la sostenibilidad y su importancia

son los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que se aprobaron en la agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Estos objetivos se encuentran interrelacionados entre sí. Los ODS tienen una visión global y comprenden desde la búsqueda de la eliminación de la pobreza, de las desigualdades, de una educación de calidad, evitar la degradación ambiental y establecer los caminos que lleven a un mundo más próspero, con paz y justicia (Organización de las Naciones Unidas, 2023).

El término “sostenibilidad” ha experimentado una evolución en su significado y ha adquirido una serie de terminologías que, en ocasiones, pueden generar confusión. Por lo tanto, es crucial destacar y definir adecuadamente este término, dependiendo del campo del conocimiento en el que se aplique. En este sentido, la sostenibilidad abarca múltiples aspectos que pueden ser considerados desde diversas perspectivas, con el objetivo de hacer rentables todas las actividades realizadas en nuestra vida diaria, evidenciándolo en cada acción que realizamos y en la forma en como estas impactan en el medio ambiente. Es en este sentido donde las acciones humanas individuales y colectivas han ejercido una presión inmensa sobre el planeta y las formas de vida que sustenta. Como la humanidad está contribuyendo palmariamente a la degradación del medio ambiente, a la rápida pérdida de diversidad biológica y al cambio climático, sus actuaciones también deben aportar las soluciones a esos desafíos (Organización de las Naciones Unidas, 2023).

La educación puede desempeñar un gran papel en la necesaria transformación en sociedades más sostenibles ambientalmente, de consumo con iniciativas del gobierno, la sociedad civil y el sector privado, siendo esta transformadora de los valores y las perspectivas. También, contribuye a la adquisición de competencias, conceptos e instrumentos que pueden utilizarse para disminuir prácticas insostenibles o acabar con ellas. La sostenibilidad requiere de una EA que contribuya a la formación de una cultura ambiental que oriente la acción humana desde una ética ambiental y un pensamiento crítico y propositivo que permita reconfigurar el equilibrio de la relación entre sociedad y naturaleza. Las estrategias pedagógicas asumidas desde un ECV deberán fortalecer la participación activa y vinculante de los diferentes actores para la toma de decisiones desde las condiciones propias de las comunidades y medios de vida de las poblaciones (Calderón-Cuartas *et al.*, 2019).

Debido a la complejidad del mundo en el que vivimos, surge una creciente preocupación por los grandes desafíos ambientales y sociales. En respuesta a esto, la sostenibilidad se ha convertido en un concepto esencial en nuestra sociedad, donde la sostenibilidad como la sustentabilidad se centran en equilibrar las necesidades presentes y futuras; de tal forma hemos optado por enfocarnos en la sostenibilidad debido a su perspectiva más profunda y de largo plazo. En este sentido, la sostenibilidad se focaliza en la capacidad de mantener y preservar un sistema en el tiempo, asegurando la satisfacción

de las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas. Esta visión va más allá de la mera preservación o conservación y busca establecer un equilibrio armonioso entre los aspectos ambientales, sociales y económicos, articulados a los procesos de formación en educación superior. Es entonces la Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) la respuesta del sector educativo de la UNESCO a los desafíos urgentes y dramáticos a los que el planeta está confrontado; es por eso que, La EDS para la Agenda 2030 tiene como objetivo lograr la transformación personal y social necesaria para cambiar de rumbo (Organización de las Naciones Unidas, 2023).

A diferencia de la sustentabilidad, que se enfoca en la mitigación de impactos negativos o la eficiencia en el uso de los recursos, la sostenibilidad aspira a promover un cambio sistémico que fomente la regeneración y la resiliencia. La sostenibilidad busca abordar las causas fundamentales de los desafíos que enfrentamos, reevaluando nuestros modelos de producción y consumo, fomentando la innovación y la adopción de prácticas más responsables en todos los sectores. Además, la sostenibilidad implica un enfoque integrado y colaborativo, requiere de la participación de todos los actores, incluidos gobiernos, empresas, organizaciones no gubernamentales y la sociedad civil en su conjunto. Solo a través de la cooperación y el compromiso colectivo podemos abordar los desafíos de manera efectiva y construir un futuro sostenible para las próximas generaciones. Además, son terminologías que han contribuido a generación de conciencia y a trabajar conjuntamente por el cuidado, conservación y preservación de los recursos y del medio ambiente en general (Peña-Guzman, 2017).

En este sentido, elegir la sostenibilidad en lugar de la sustentabilidad refleja nuestra convicción de que necesitamos un enfoque más amplio y a largo plazo para enfrentar los desafíos ambientales y sociales. La sostenibilidad nos invita a repensar nuestros sistemas y comportamientos, y a adoptar un enfoque innovador e integrado que promueva la regeneración, concientización y perseverancia. Es a través de la sostenibilidad que podemos forjar un camino hacia un futuro más equitativo y próspero para las futuras generaciones. Por ende, las universidades, así pues, se ven impulsadas a promover competencias relacionadas con la sostenibilidad, si bien debe destacarse que este concepto presenta dimensiones sociales y económicas, y que en él se incluye la necesidad de lograr justicia y equidad social, existiendo por ello interdependencia entre el paradigma a favor de la inclusión educativa y el desarrollo sostenible (Alcalá & Gutiérrez, 2020).

De tal forma, para poder llegar a la sostenibilidad con el transcurrir del tiempo, es necesario replantear estrategias y metodologías de intervención eficaces, que permitan sostener sustancialmente los cambios a nivel ambiental y social. Donde la sociedad en general sea la precursora de mantener la concientización de generación en generación, que a la vez contribuyan a la construcción de grandes transformaciones sociales y sostenibles.

Metodología

El método utilizado en este estudio es de naturaleza cuantitativa, con un enfoque descriptivo. Se empleó un análisis bibliométrico basado en el método Prisma, utilizado en revisiones sistemáticas de la literatura. Esto facilitó la búsqueda y el análisis de los documentos seleccionados, mejorando la comprensión de los avances investigativos (Page *et al.*, 2021).

En la búsqueda, se plantearon ecuaciones booleanas para favorecer y delimitar el análisis de los documentos de acuerdo con los intereses investigativos. Esto permitió que la búsqueda se enfocara en las especificidades de la temática abordada. Se utilizó la base de datos de ProQuest, considerando que los recursos estuvieran disponibles en acceso abierto (Hutton *et al.*, 2016).

Asimismo, durante el análisis y procesamiento de los artículos, se priorizó la inclusión de aquellos que tuvieran al desarrollo sostenible como tema central, de acuerdo con los intereses y avances científicos en esta materia.

Criterios de Inclusión

Para la selección de los estudios, se consideraron los siguientes criterios: un período de los últimos cinco años, acceso abierto y completo en *open access*, y se revisaron artículos en español e inglés para ampliar la búsqueda. Además, se incluyeron los reportes investigativos provenientes de entidades gubernamentales especializadas en el tema.

Criterios de Exclusión

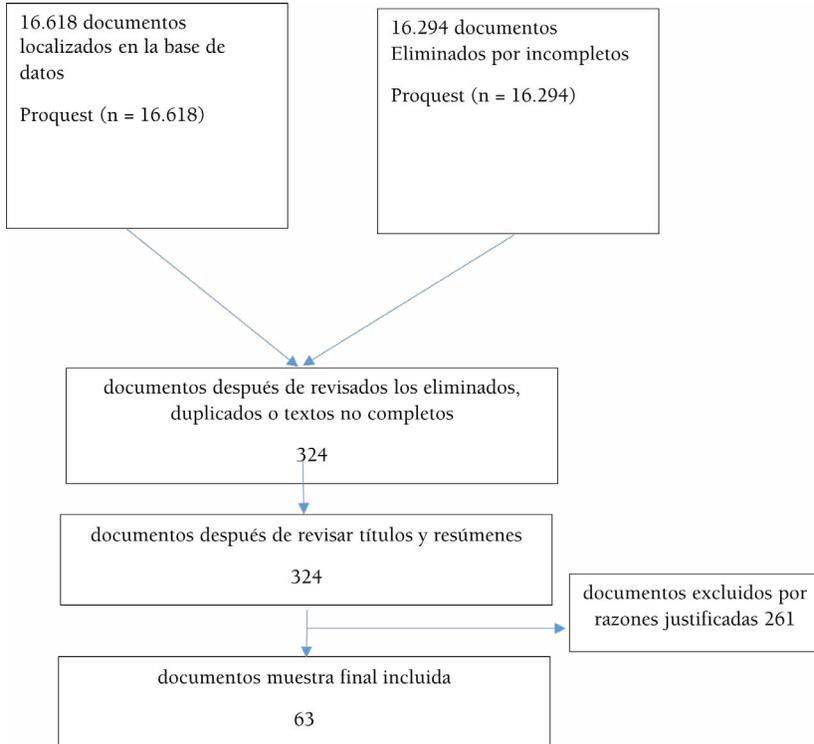
Se excluyeron los documentos que no cumplieran con los criterios de acceso abierto o que requerían un pago. Asimismo, se descartaron las editoriales, notas a los editores, libros y capítulos de libros que no incluían las variables de estudio propuestas. Además, se optó por no considerar las revisiones sistemáticas, ya que no se trata de una revisión de revisiones. Por último, se excluyeron los documentos en otros idiomas distintos al inglés o al español.

Para la operacionalización de la búsqueda se plantearon las siguientes ecuaciones:

1. (environmental AND sustainability OR higher education NOT High school) AND (subt.exact("sustainability") AND la.exact ("SPA") AND pd(20180504-20230504) AND PEER(yes))
2. ("Cambio climático" AND "educación superior") AND (at.exact("Article" OR "Feature") AND stype.exact("Scholarly Journals") AND la.exact("SPA" OR "ENG" OR "POR") AND subt.exact("climate change" OR "higher education" OR "colleges & universities") AND pd(20180526-20230526) AND PEER(yes))

3. (“Impacto ambiental” AND “educación superior”) AND (at.exact(“Article” OR “Feature”) AND subt.exact(“higher education” OR “environmental impact” OR “colleges & universities”) AND la.exact(“SPA” OR “ENG” OR “POR”) AND pd(20180526-20230526) AND PEER(yes))

A continuación, se presenta el flujograma usado:



Resultados

Tabla 1. Resultados de búsqueda en proquest

Nº	Cruces variables/ palabras claves	Autores. En apa Apellido año	DOI	Aportaciones	Resultados hallazgos	País/ ciudad
1	Desarrollo sostenible	(Morales-Corral & Teso-Alonso, 2022)	https://doi.org/10.5209/esmp.80734	Se ofrecen contenidos relacionados con los avances investigativos en cuanto al cambio climático a través de los medios de comunicación.	Por medio de la educomunicación se realizan aseveraciones y estrategias comunicativas eficaces que permiten evidenciar los avances relacionados a la educación ambiental.	Medellín Colombia
2	Desarrollo sostenible	(Carvajal-Flórez <i>et al.</i> , 2023).	https://doi.org/10.24850/j-ty-ca-14-01-01	Es necesario implementar campañas para reducir el uso de plásticos y papel en el campus universitario, evidenciando una mala cultura de separación de residuos para su correcto aprovechamiento.	Las autoridades universitarias deben tomar medidas importantes para abordar las problemáticas identificadas y promover la sostenibilidad ambiental, evitando multas y sanciones por incumplimiento normativo.	Medellín Colombia
3	Desarrollo sostenible	(Calles-Santoyo <i>et al.</i> , 2020)	https://doi.org/10.46652/rgn.v5i24.642	Se requiere la participación de todas las partes involucradas y una sinergia responsable para lograr una educación de calidad, que involucre aspectos éticos, responsables y morales.	Destaca la importancia de buscar constantemente la excelencia, académica, la transmisión del conocimiento y el desarrollo sostenible. a través de la autocrítica, la crítica externa y la mejora continua.	Quito Ecuador
4	Desarrollo sostenible	(Calderón-Cuarta <i>et al.</i> , 2019)	https://doi.org/10.11144/javeriana.ayd23-44.fcae	El enfoque de ciclo de vida y la educación ambiental es clave para la configuración de estrategias pedagógicas que den origen a procesos participativos de gestión ambiental basados en una cultura ambiental a nivel territorial.	El desequilibrio en la relación sociedad-naturaleza se manifiesta en la degradación ambiental urbana. Esto se debe a la creencia de que el crecimiento económico depende de transformar los recursos naturales en bienes y servicios.	Bogotá Colombia

Nº	Cruces variables/ palabras claves	Autores. En apa Apellido año	DOI	Aportaciones	Resultados hallazgos	País/ ciudad
5	Desarrollo Sostenible	(Vázquez & Escámez, 2022)	https://doi.org/10.14201/teri.27817	Orientar métodos de enseñanza e investigación, que busquen y promueva la justicia social y el desarrollo sostenible para para revertir los efectos negativos del modelo de progreso actual.	La ética del cuidado revierte el aislamiento y el miedo, reconstruyendo la participación para una democracia inclusiva y promoviendo modelos innovadores de sostenibilidad en todas las áreas.	Salamanca España
6	Desarrollo sostenible	(Zalapa-lúa, 2021).	https://doi.org/10.46652/rgn.v6i30.862	La educación de calidad y pertinente tiene un impacto en el desarrollo sostenible del estado, por lo que los organismos internacionales enfatizan su importancia en la educación superior.	Las funciones educativas se relacionan bilateralmente con la pertinencia educativa y el desarrollo sostenible. La pertinencia social tiene un fuerte vínculo, mientras que la política y la económica están moderadamente conectadas.	Quito Ecuador
7	Desarrollo sostenible	(Filut, 2020).	https://doi.org/10.15332/25006681/6015	Este programa tiene potencial para lograr logros significativos al incluir de manera no visible la educación para la paz y la sostenibilidad y nutrir a las nuevas generaciones con habilidades y capacidades.	El concepto de paz no es prominente en los programas de educación debido a la sensibilidad del conflicto árabe-israelí y sus diferentes connotaciones para las personas afectadas por él.	Bogotá Colombia
8	Desarrollo sostenible	(Muñoz-Mantilla, 2022)	https://doi.org/10.22430/21457778.2137	Transferir acciones pedagógicas del entorno cotidiano a la comunidad educativa para la convergencia entre la experiencia y el conocimiento, fomentando el reconocimiento socioambiental de la ciudad y la conexión emocional con el territorio.	La construcción de una cultura de sostenibilidad requiere procesos a largo plazo que comienzan con la adopción de comportamientos proambientales, transformando los hábitos y estilos de vida de la comunidad educativa.	Medellín Colombia

*La sostenibilidad ambiental y los desafíos en educación en el siglo XXI:
Una revisión sistemática de la literatura*

Nº	Cruces variables/ palabras claves	Autores. En apa Apellido año	DOI	Aportaciones	Resultados hallazgos	País/ ciudad
9	Desarrollo sostenible	(Soto & Gómez, 2020)	https://doi.org/10.15446/bitacora.v30n3.80196	El caso de estudio se basa en la colaboración entre una comunidad educativa y las autoridades municipales para mejorar la movilidad. Mediante una encuesta y mejorar la sostenibilidad de la ciudad.	El segundo segmento busca conocer los medios de transporte utilizados por los estudiantes para llegar al campus UVM y para realizar sus actividades previas y posteriores.	Bogotá Colombia
10	Desarrollo sostenible	(De La Osa-Velásquez & García-Sánchez, 2019)	https://doi.org/10.15446/bitacora.v29n3.67322	Este proyecto busca abordar problemáticas locales, contribuyendo así a la formación de profesionales responsables y al desarrollo sostenible, humano y urbano.	Se construyó un muro interactivo de estimulación, para introducir en el pensamiento de la cultura del cuidado del medio ambiente, el desarrollo sustentable en los territorios.	Sincelejo Colombia
11	Desarrollo sostenible	(Pérez & Camacho, 2023)	https://doi.org/10.18601/01245996.v25n48.11	Se recomienda promover estrategias educativas para aumentar la escolaridad, cultivar una cultura ambiental en los jóvenes y concienciar a la población urbana sobre la importancia de cuidar el planeta.	Se indica que la probabilidad de encontrar comportamientos más favorables hacia el medio ambiente aumenta a medida del nivel educativo.	Bogotá Colombia
12	Desarrollo sostenible	(Rivera-Mateos & Doumet-Chilán, 2021)	https://doi.org/10.24850/j-ty-ca-2021-02-06	El diagnóstico socioambiental y la evaluación de los recursos territoriales permiten identificar las carencias y limitaciones de los destinos de turismo de naturaleza y ecoturismo.	Plantear estrategias para lograr una ordenación territorial integral, convertirlo en un destino de turismo comunitario de naturaleza y fortalecer la gestión pública ambiental y turística, involucrando a los actores locales.	Jiutepec México
13	Desarrollo sostenible	(Bedoya-Montoya & Muñoz-Echavarría, 2022)	https://doi.org/10.15332/25005421.6681	Se establecieron líneas de acción para integrar competencias básicas de la Facultad de Arquitectura con aspectos holísticos como el ambiente, cultura, economía y técnica, fortaleciendo estrategias académicas.	Se identificaron estrategias para promover la discusión entre docentes y alumnos sobre el diseño y construcción en relación con el ambiente y sociedad.	Bogotá Colombia

N°	Cruces variables/ palabras claves	Autores. En apa Apellido año	DOI	Aportaciones	Resultados hallazgos	País/ ciudad
14	Desarrollo sostenible	(Mantilla-Falcón <i>et al.</i> , 2020)	https://doi.org/10.18800/contabilidad.202001.004	El manejo de la ecoeficiencia en una IE establece una línea base para gestionar eficientemente los recursos de energía, agua y combustibles, generando ahorros significativos en el presupuesto institucional.	Los resultados evidencian la eficiencia de las facultades, y su clasificación mediante clústeres que facilitan la toma de decisiones gerenciales para mejorar la sostenibilidad ambiental.	Ambato Ecuador
15	Desarrollo sostenible	(Valderrama-Hernández <i>et al.</i> , 2020)	https://doi.org/10.5944/educXX1.23420	Es crucial formar al profesorado para integrar la sostenibilidad en diversas asignaturas. Los grupos de discusión aportan información valiosa para establecer hojas de ruta y cubrir las carencias identificadas.	Los resultados muestran que la formación en sostenibilidad que aporta la universidad es insuficiente, y que los estudiantes no se sienten preparados para integrar la sostenibilidad en su actividad profesional.	Madrid España
16	Desarrollo sostenible	(Cabrai, 2021).	https://doi.org/10.18682/jcs.vi19.5378	Es un aliciente para futuros abordajes o implementación de estrategias pedagógicas para la educación ambiental. caracterizar a la educación ambiental a escala local como un campo débil.	Permite construir sentidos plurales y promover el diálogo de saberes entre docentes y mujeres adultas trabajadoras y estudiantes. Esto abre nuevas líneas de investigación sobre género y cuidado del ambiente.	Buenos aires Argentina
17	Desarrollo sostenible	(Schlemer-Alcántara <i>et al.</i> , 2018).	https://doi.org/10.7203/CI-RIEC-E.93.9217	El modelo educativo analizado busca fomentar la resiliencia individual ante la crisis social y ecológica. El desarrollo territorial sostenible se basa en la eficiencia económica, la eficacia ambiental.	La educación cooperativa de la ECM tiene dificultades para convertir la reflexión en acción y el discurso en práctica. El modelo de desarrollo de Mondragón obstaculiza la sostenibilidad ambiental.	Quito Ecuador

*La sostenibilidad ambiental y los desafíos en educación en el siglo XXI:
Una revisión sistemática de la literatura*

Nº	Cruces variables/ palabras claves	Autores. En apa Apellido año	DOI	Aportaciones	Resultados hallazgos	País/ ciudad
18	Desarrollo sostenible	(Arredondo-Cortés, 2020)	https://doi.org/10.46652/rgn.v5i24.638	La formación docente y el desarrollo social sostenible deben estar integrados para abordar las desigualdades a través de la educación. Las instituciones deben promover esta competencia en la formación docente.	Se evidencia que existe la urgencia que las instituciones formadoras de docentes vinculen acciones concretas dentro de su malla curricular que favorezcan el conocimiento y el dominio del desarrollo social sostenible.	Valencia España
19	Desarrollo sostenible	(Antón-Ares, 2019)	https://doi.org/10.14201/eks20181943151	Los resultados brindan información valiosa para el diseño de MOOC, su impacto en la sociedad y la empleabilidad. Destacando propuestas de colaboración, compartir conocimiento e innovación, en la enseñanza-aprendizaje.	Los resultados de estos trabajos. Resultó evidente que el uso de las tecnologías, con sus enormes posibilidades, ha sido pieza fundamental en el desarrollo de las investigaciones.	Salamanca España
20	Desarrollo sostenible	(Bisquert <i>et al.</i> , 2013)	https://doi.org/10.7179/PSRI_2023.42.12	Las iniciativas estudiadas en la educación del consumo alimentario aportan enfoques de eco ciudadanía y cultura de la sostenibilidad, promoviendo la transformación social a nivel local.	Se recopiló información que permitió la obtención de datos cuantitativos y cualitativos sobre las características, gobernanza, colaboraciones y dimensiones socioeducativas.	Madis España
21	Desarrollo sostenible	(Alcalá & Gutiérrez, 2020)	https://doi.org/10.12795/anduli.2020.i19.03	Enfatizan la importancia de programas de formación que incorporen la sostenibilidad en el currículo universitario. Esto es crucial para abordar de manera efectiva las cuestiones de degradación ambiental en las asignaturas impartidas.	El profesorado universitario reconoce la necesidad de promover valores y actitudes en la formación actual, fomentando competencias críticas y superando enfoques tradicionales.	Sevilla España

N°	Cruces variables/ palabras claves	Autores. En apa Apellido año	DOI	Aportaciones	Resultados hallazgos	País/ ciudad
22	Desarrollo sostenible	(Padilla-Murcia & Flores-Hinos, 2022)	https://doi.org/10.5294/edu.2022.25.1.1	La EA para la sostenibilidad fomenta el conocimiento reflexivo y crítico, la comprensión de las relaciones contextuales y la toma de acciones concretas para mejorar el entorno y el futuro.	Se realizó la negociación de la demanda y el estudio preliminar de la situación, con la que se identificó y definió la problemática, se elaboró la propuesta del Proyecto Ambiental Institucional (PAI).	Bogotá Colombia
23	Desarrollo sostenible	(Plata-Rangel <i>et al.</i> , 2020)	https://doi.org/10.5294/edu.2020.23.2.1	Es importante el avance en materia de política ambiental universitaria para la creación de currículos transversales que aporten a formación de profesionales íntegros.	Los resultados de la encuesta coinciden entonces con el supuesto inicial: que el nivel de institucionalización del compromiso con el ambiente y la sustentabilidad en las IES en Colombia es incipiente.	Bogotá, Colombia
24	Desarrollo sostenible	Cittadin, A., López, B. B. W. S., da Rosa, F. S., & Monteiro, J. J. (2022).	https://doi.org/10.3232/GCG.2022.V16.N2.06	La educación para la sustentabilidad puede ser una alternativa para sensibilizar a los jóvenes profesionales, quienes en el futuro trabajarán en la gestión de organizaciones públicas y privadas.	Los resultados muestran que el conocimiento de los estudiantes sobre temas de sustentabilidad influyó significativamente en la percepción de los elementos de agua y alimentos del FEW-Nexus.	Florianópolis Brasil
25	Desarrollo sostenible	Luna-Conejo, B. (2020).	https://www.proquest.com/scholarly-journals/las-comunidades-de-aprendizaje-y-la-actualización/docview/2691906973/se-2	Los aportes señalan que se requiere de un cambio de formación docente convencional a una socioformativa, poniéndose en práctica las comunidades de aprendizaje. (Muñoz, 2015).	La investigación documental sin cartografía utilizó categorías para analizar los documentos y encontrar soluciones al problema planteado en el artículo.	Quito Ecuador

*La sostenibilidad ambiental y los desafíos en educación en el siglo XXI:
Una revisión sistemática de la literatura*

Nº	Cruces variables/ palabras claves	Autores. En apa Apellido año	DOI	Aportaciones	Resultados hallazgos	País/ ciudad
26	Desarrollo sostenible	(Escolar-Llamazares <i>et al.</i> , 2021)	https://doi.org/10.7203/terra.8.20371	Información útil para formar docentes en sostenibilidad según las demandas del Espacio Europeo de Educación Superior.	La ansiedad estado es más baja al inicio del curso y aumenta durante la exposición y los exámenes, superando la puntuación media de la escala de ansiedad.	Valencia España
27	Desarrollo sostenible	(Jiménez Martínez & García-Barrios, 2022)	https://doi.org/10.15332/25005375.6680	Aporta objetos de investigación sustantivos que procuren en todos sus ámbitos el diálogo, y la ausencia de este no solo imposibilita resolver su antagonismo, sino que conduce a prácticas sostenibles.	Se construyó un modelo de visibilizarían de la situación objetivo y potente, y se ha atraído la atención e intervención del Tribunal Latinoamericano del Agua.	Ciudad de México
28	Desarrollo sostenible	(Beuron <i>et al.</i> , 2021)	https://doi.org/10.18227/2237-8057rarr.v10i0.6217	La importancia de comprometer el nivel estratégico, el cuidado del campus y, sobre todo, los valores sostenibles perpetuados desde sus fundadores se demostraron para la construcción de una universidad más verde.	Se demuestra que la institución actúa en línea con las principales corrientes teóricas que abordan la sostenibilidad, preocupado por las operaciones más sostenibles en el campus.	Boa Viata Brasil
29	Desarrollo sostenible	(Vazquez-Ayala, 2020)	https://www.proquest.com/scholarly-journals/la-formación-docente-socioformativa-parael/docview/2691906929/se-2	Es necesario proponer y ejecutar espacios de dialogo profesional en vistas de alcanzar una sociedad más sostenible.	La preparación académica de los docentes, así como su formación continua, no permite el desarrollo de un pensamiento crítico llegando más allá de la observancia.	Quito Ecuador

Nº	Cruces variables/ palabras claves	Autores. En apa Apellido año	DOI	Aportaciones	Resultados hallazgos	País/ ciudad
30	Desarrollo sostenible	(Vásquez & Tobón, 2020)	https://doi.org/10.46652/rgn.v5i24.639	El propósito de dicho estudio redundante en identificar el papel que juegan los aspectos socioemocionales en el proceso educativo de nivel superior.	Demuestran la falta de avanzar en metodologías y estrategias tendientes al desarrollo socioemocional de los estudiantes; para garantizar una formación integral de los mismos, principalmente en el nivel de educación superior.	Quito Ecuador
31	Desarrollo sostenible	(Granados-Sánchez, 2018)	https://www.proquest.com/scholarly-journals/la-educación-para-sostenibilidad-en-enseñanza-de/docview/1681291321/se-2	Es relevante para la enseñanza de la geografía ambiental y la sostenibilidad en el currículo para la reorientación del currículo hacia la educación para el desarrollo sostenible.	Contribuye desde la enseñanza una reorientación curricular que establezca criterios y recomendaciones sobre la definición de objetivos de aprendizaje y competencias geográficas para el desarrollo sostenible.	Barcelona España
32	Desarrollo sostenible	(Flores, 2022)	https://www.proquest.com/scholarly-journals/investigación-en-educación-ambiental/docview/1325822479/se-2	Proyectos promueven conciencia crítica sobre consumo y alimentación saludable. Abogan por educación ambiental integradora, incluyendo disciplinas, saberes, ética, actores y tiempo amplio.	Proporcionan elementos orientados para el análisis de las situaciones pedagógicas, de los tipos de conocimientos que están presentes, de los marcos de referencia y del modo de razonar de los diferentes destinatarios.	México D.F
33	Desarrollo sostenible	(Hernández-López <i>et al.</i> , 2020)	https://doi.org/10.46652/pacha.v1i1.8	El diagnóstico de la cultura de género en universidades es crucial para promover la equidad. Es relevante y abre el camino hacia un cambio necesario en la universidad.	Análisis documental para reflexionar, procesar y seleccionar lo más pertinente hacia la solución de los objetivos de la investigación.	Quito Ecuador

*La sostenibilidad ambiental y los desafíos en educación en el siglo XXI:
Una revisión sistemática de la literatura*

N°	Cruces variables/ palabras claves	Autores. En apa Apellido año	DOI	Aportaciones	Resultados hallazgos	País/ ciudad
34	Desarrollo sostenible	(Kitta & Cardona-Moltó, 2022)	https://www.proquest.com/scholarly-journals/competencias-de-estudiantes-universitarios/docview/2666603907/se-2	Se indicaron que la estructura de tres factores de 21 ítems es consistente en diferentes grupos y géneros, confirmando que la prueba evalúa el mismo constructo en maestros y estudiantes universitarios griegos.	Los resultados del AFE ofrecieron una solución de tres factores que, en conjunto, explicaba el 60.82% de la varianza (26.63%, 19.35% y 14.85% para cada uno de los tres factores, respectivamente).	Bridgewater Estados unidos
35	Desarrollo sostenible	(Canaza-Choque, 2019)	https://www.proquest.com/scholarly-journals/de-la-educación-ambiental-aldesarrollo/docview/2354878179/se-2	La escuela juega un papel fundamental en la comprensión del cambio climático y la economía en la naturaleza. de allí la importancia que aborden la relación entre escuela, desarrollo, naturaleza y justicia.	La recolección de fundamentos teóricos y resultados permitió rescatar planteamientos y relevantes estudios sobre EA, DS y de EJ en los tópicos del CC.	San José Perú
36	Desarrollo sostenible	(Flórez-Restrepo, 2012)	https://doi.org/10.19053/22160159.1135	El diálogo, la complementariedad, la reciprocidad y el compromiso mutuo promueven la construcción de saberes sociales en entornos naturales y socio-culturales, contribuyendo a una sociedad sustentable.	Para educar con respecto a un problema ambiental se requiere del diálogo permanente entre todas las especialidades, todas las perspectivas y todos los puntos de vista.	Tunja Colombia
37	Desarrollo sostenible	(Medir-Huerta <i>et al.</i> , 2016)	https://www.proquest.com/scholarly-journals/una-propuesta-evaluativa-para-actividades-de/docview/1737493245/se-2	Los resultados nos aportan nuevas informaciones acerca de las fortalezas y las debilidades del desarrollo de actividades de educación ambiental.	A través de los resultados identificados, podemos afirmar que en las actividades analizadas siguen siendo los contenidos conceptuales los protagonistas absolutos, seguidos de los procedimientos.	Girona España

N°	Cruces variables/ palabras claves	Autores. En apa Apellido año	DOI	Aportaciones	Resultados hallazgos	País/ ciudad
38	Desarrollo sostenible	(Cárdenas, 2017)	https://doi.org/10.26620/unimimuto.polisemia.13.24.2017.73-86	Promover un enfoque educativo que fortalezca la conciencia, participación y compromiso ciudadano con el medio ambiente, mediante plataformas educativas.	Proyectos de educación ambiental enfatizan el desarrollo económico y la preservación de recursos, pero no abordan las causas y consecuencias de los problemas ambientales del modelo de producción y consumo.	Bogotá Colombia
39	Desarrollo sostenible	(Prosser-Bravo & Romo-Medina, 2019)	https://www.proquest.com/scholarly-journals/investigación-en-educación-ambiental-con-menores/docview/2386338985/se-2	Contribuir a la configuración y el desarrollo del campo de estudio de la educación ambiental con menores en Iberoamérica.	Los resultados indican que existe una progresión creciente y discontinua de publicaciones a lo largo de los últimos 20 años y es 2017 el que reúne el mayor número.	México D.F.
40	Desarrollo sostenible	(Sánchez-Contreras & Murga-Menoyo, 2019)	https://www.proquest.com/scholarly-journals/el-profesorado-universitario-ante-proceso-de/docview/2310238748/se-2	El profesorado como agente de cambio por la sustentabilidad, en su práctica docente contribuye a la formación de ciudadanos que asuman los principios y valores de la sustentabilidad.	La pertinencia que el profesorado otorga a los procesos de incorporación de la sustentabilidad en la docencia, así como la viabilidad de una oferta formativa institucional dirigida a la capacitación en competencias docentes.	México
41	Desarrollo sostenible	(López-Vázquez et al., 2021)	https://doi.org/10.12795/revista-fuentes.2021.v23.i1.11203	Contribuye a la implementación de estrategias viables para generar una mediación didáctica que facilite la aceptación del otro y de uno mismo.	La mediación didáctica desde la socioformación, es categorizada para coordinar la formación integral de los estudiantes a través de actividades pertinentes, para asegurar su desarrollo, transformación y progreso sistemático.	Sevilla España

*La sostenibilidad ambiental y los desafíos en educación en el siglo XXI:
Una revisión sistemática de la literatura*

N°	Cruces variables/ palabras claves	Autores. En apa Apellido año	DOI	Aportaciones	Resultados hallazgos	País/ ciudad
42	Desarrollo sostenible	(Clavijo-Castillo & Bautista-Cerro, 2020)	https://doi.org/10.17163/alt.v15n1.2020.09	Aporta sobre la situación y los retos que plantea la educación inclusiva en Ecuador, con especial incidencia en el ámbito de la educación superior.	Constata el avance en el tratamiento de esta a nivel internacional y su reflejo en la normativa nacional. A pesar de ello, transforma la cultura y las prácticas de las Universidades para atender a la diversidad.	Cuenca Ecuador
43	Desarrollo sostenible	(Ull-Solis, 2014)	Solís, M. Á. U. (2014). https://www.proquest.com/scholarly-journals/competencias-para-la-sostenibilidad-y-en/docview/1661372372/se-2	Aporta un valor añadido por las diferentes perspectivas y concluye que esas competencias son, entre otras: Competencia para el pensamiento sistémico, anticipatorio y pensamiento crítico lógicamente.	El proceso de la educación reglada y superior. Reconoce comprender el problema de la educación, ya que las ideas que sirven de fundamento para la educación moderna en todo el planeta.	Medellín Colombia
44	Desarrollo sostenible	(Callejas-Restrepo <i>et al.</i> , 2018)	https://doi.org/10.19053/22160159.v9.n21.2018.8928	Los profesionales que egresan de las IES deben lograr una comprensión más amplia de las interacciones de su acción profesional con el ambiente, y las implicaciones de su trabajo en la sostenibilidad del entorno.	Se espera que los datos les resulten útiles al hacer su propia evaluación de la institucionalización del compromiso ambiental y en la formulación de un plan de mejoramiento a partir de la reflexión.	Tunja Colombia
45	Desarrollo sostenible	(Holgúin-Aguirre & Vargas-Lasso, 2021)	https://www.proquest.com/scholarly-journals/la-contabilidad-ambiental-en-los-reportes-de/docview/2579142770/se-2	Aportar al desarrollo de la Agenda 2030, donde se evaluaron los resultados de las agendas mundiales en materia de desarrollo sostenible y las metas alcanzadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.	El análisis permitió acercarse a las diferentes teorías y conceptos de la contabilidad ambiental y su respectiva aplicación a las cuentas ambientales.	Bogotá Colombia

Nº	Cruces variables/ palabras claves	Autores. En apa Apellido año	DOI	Aportaciones	Resultados hallazgos	País/ ciudad
46	Desarrollo sostenible	(Camacho-Monar & Valdés-Rodríguez, 2020)	https://doi.org/10.12795/revistas-fuentes.2020.v22.i2.02	Se proponen planes de acción relacionados a: la capacitación docente y a la inclusión transversal de la competencia profesional ambiental, a través de proyectos investigativos individuales o grupales.	Se realiza el histórico lógico de la educación ambiental, la dimensión ambiental y el término competencias, mediante el análisis de diferentes conceptualizaciones a través del tiempo para construir la definición de competencia profesional ambiental.	Sevilla España
47	Desarrollo sostenible	(Padilla-Murcia & Flores-Hinos, 2022)	https://doi.org/10.5294/edu.2022.25.1.1	Este enfoque de la Educación Ambiental promueve la reflexión crítica y el conocimiento de las interconexiones en la realidad, contribuyendo así a la sostenibilidad.	Se realizó la negociación de la demanda y el estudio preliminar de la situación, con la que se identificó y definió la problemática, se elaboró la propuesta del Proyecto Ambiental Institucional (PAI).	Chía Colombia
48	Desarrollo sostenible	(Ricaurte-Burgos, 2019)	https://doi.org/10.5209/obmd.73175	Analizar cómo los programas oficiales de Educación Ambiental (EA) implementados en Ecuador y España han integrado la ecoética en su visión, misión, objetivos y actividades.	Reconoce la importancia de la información y el derecho de las personas a estar informadas para promover la conciencia, la opinión y la transparencia en asuntos ambientales para la toma de decisiones con el medio ambiente.	Madrid España
49	Desarrollo sostenible	(Litzner-Ordóñez & Rieß, 2019)	https://doi:10.14201/teri.19037	Identificar variables del proceso de enseñanza-aprendizaje desde la perspectiva de los docentes universitarios para la implementación de un currículo transversal.	Los resultados constituyen un esfuerzo en busca de operacionalizar la educación para el desarrollo sostenible (EDS) generar nuevas perspectivas para su conceptualización, implementación e institucionalización.	Salamanca España

*La sostenibilidad ambiental y los desafíos en educación en el siglo XXI:
Una revisión sistemática de la literatura*

Nº	Cruces variables/ palabras claves	Autores. En apa Apellido año	DOI	Aportaciones	Resultados hallazgos	País/ ciudad
50	Desarrollo sostenible	(Sierra <i>et al.</i> , 2018)	https://doi.org/10.15446/ga.v21n2.75490	Comparar la ambientalización del currículo de programas de pregrado de una institución de educación superior y los efectos del currículo en el consumo del servicio público domiciliario de agua.	Los hogares con pocos individuos muestran mayor actitud hacia el ahorro de agua, especialmente en el factor preocupación activa que permita la sostenibilidad en los hogares.	Neiva Colombia
51	Desarrollo sostenible	(Souto-Galván, 2022)	https://doi.org/10.1344/REYD2021.1EXT.37698	Este estudio propone una interpretación del artículo 27.2 CE que permita avanzar en el camino hacia una educación en valores en consonancia con los propósitos de la Agenda 2030.	El papel de la enseñanza no universitaria es crucial en la transmisión de los valores y fines que propicia la Agenda 2030; constituye la herramienta de formación activa en la enseñanza de los ODS.	Barcelona España
52	Desarrollo sostenible	(Martins-Pacheco <i>et al.</i> , 2019)	https://doi.org/10.5585/geas.v8i2.1018	Se obtuvieron nuevos datos para la discusión sobre la sostenibilidad en universidades, además de destacar el papel del gobierno federal como promotor de políticas públicas.	Los resultados demostraron que la Institución no contaba con prácticas de sustentabilidad estables ni estructuradas, siendo relevante el papel del gobierno federal en ese contexto.	Sao Paulo Brasil
53	Desarrollo sostenible	(Parra <i>et al.</i> , 2018)	https://doi.org/10.5209/OBMD.62655	Para reducir la huella ecológica, la Universidad de Jaén debe trabajar en incrementar la educación ambiental de su comunidad universitaria y realizar una gestión más sostenible.	Los resultados obtenidos muestran que se necesita de media 9426,30 ha/año y 0,55 ha/persona/año para compensar las emisiones generadas por las actividades llevadas a cabo por esta institución.	Madrid España

N°	Cruces variables/ palabras claves	Autores. En apa Apellido año	DOI	Aportaciones	Resultados hallazgos	País/ ciudad
54	Desarrollo sostenible	(Molano-Sanabria <i>et al.</i> , 2016)	https://www.proquest.com/scholarly-journals/compromiso-ambiental-universitario-el-caso-de-la/docview/1847873097/se-2	El Sistema de Gestión Ambiental da ejemplo en el cumplimiento de políticas y normas ambientales contribuyendo a la conservación ambiental, y a la generación de nuevos conocimientos.	Los resultados muestran que el desarrollo del campus verde en la Sede es aún prematuro, ya que se centra en atender aspectos normativos de la responsabilidad ambiental.	Bogotá Colombia
55	Desarrollo sostenible	(Gil-Pérez & Vilchez, 2017)	https://doi.org/10.14201/teoredu201729179100	Muestra que el conocimiento y actividad social están estrechamente vinculados y deben ser abordados conjuntamente para favorecer la sostenibilidad ambiental.	Los problemas menos mencionados son el de la urbanización desordenada y especulativa, la destrucción de la diversidad cultural y el crecimiento demográfico.	Salamanca España
56	Desarrollo sostenible	(Bautista-Cerro & Diaz-González, 2017)	Hhttps://doi.org/10.14201/teoredu-2017291161187	El trabajo entre docentes y órganos rectores se debe realizar articuladamente para avanzar en estrategias que permitan responder al desafío que la problemática ambiental presenta cada día.	Contribuye a la inclusión de la sostenibilidad en los Grados universitarios. Para conocer la presencia efectiva de la misma en el diseño de los programas universitarios.	Salamanca España
57	Desarrollo sostenible	(Sanabria-Suárez <i>et al.</i> , 2020)	https://doi.org/10.13043/DYS.86.5	El planteamiento metodológico lo pueden replicar otras IES nacionales e internacionales que deseen conocer sus capacidades académicas a fin de aportar a la implementación de la Agenda 2030.	la universidad como una institución comprometida con el desarrollo sostenible en la formación en sostenibilidad y propicia la articulación y el trabajo colaborativo.	Bogotá Colombia
58	Desarrollo sostenible	(Báez-Hernández, Hernández-Medina, & Carrasco-Fuentes, 2019)	https://doi.org/10.22490/21456453.2728	Es importante que apliquemos nuestras habilidades y conocimientos en los espacios de consulta popular para que los gobernantes descubran que existen ciudadanos con capacidad para contribuir al desarrollo local.	Se busca el punto de partida para identificar el papel y la posición actual de la universidad, con el fin de establecer de la mejor manera posible su modelo de formación en línea con la misión universitaria.	Hernández, A. B., Medina, C. A. H., & Fuentes, M. A. C. (2019).

*La sostenibilidad ambiental y los desafíos en educación en el siglo XXI:
Una revisión sistemática de la literatura*

Nº	Cruces variables/ palabras claves	Autores. En apa Apellido año	DOI	Aportaciones	Resultados hallazgos	País/ ciudad
59	Impacto ambiental	(Mantilla-Falcón <i>et al.</i> , 2020)	https://doi.org/10.18800/contabilidad.202001.004	Contribuye a la sostenibilidad económica global de una institución al fomentar prácticas ecoeficientes que tengan un impacto positivo y sean sostenibles a largo plazo.	Los resultados demuestran la eficiencia de las facultades y su clasificación en grupos que facilitan la toma de decisiones gerenciales para mejorar la sostenibilidad ambiental y financiera de la institución.	Lima Perú
60	Impacto ambiental	(Chambi-Condori & Llanque-Maquera, 2022)	https://www.redalyc.org/journal/496/49672695022/html/	Permite identificar, evaluar y valorar los impactos ambientales generados por la explotación de la Cantera de San Luis de Alba en la Provincia de Puno, República del Perú.	Los resultados obtenidos sugieren la necesidad de planificar acciones preventivas y correctivas antes de la ejecución de proyectos, de manera que se puedan mitigar los impactos negativos más significativos.	Bogotá Colombia
61	Impacto ambiental	(Chamorro-González <i>et al.</i> , 2020)	https://doi.org/10.17533/udea.rc.n77a04	El artículo investiga las discusiones discursivas que han surgido en torno a la literatura ambiental, y luego destaca la importancia de incorporar la contabilidad verde en el sistema contable.	Se señala que 15 universidades en Antioquia incluyen la formación en contabilidad verde, donde el 69% de los contenidos impartidos son de carácter interdisciplinario y el 31% son disciplinarios.	Quito Ecuador
62	Cambio climático	(Rodríguez-Pacheco <i>et al.</i> , 2022)	https://doi.org/10.15332/22563067.6305	Contribuye al diseño, implementación y evaluación de estrategias relevantes, viables y de alto impacto relacionadas con el cambio climático en las instituciones educativas del Caribe Colombiano.	Se evidencia la necesidad de vincular explícitamente los procesos de formación profesional al reconocimiento de acciones relacionadas con el cambio climático.	Bogotá Colombia

Nº	Cruces variables/ palabras claves	Autores. En apa Apellido año	DOI	Aportaciones	Resultados hallazgos	País/ ciudad
63	Cambio climático	(Gómez-Zermeño & Alemán, 2022)	https://doi.org/10.17533/udea.rib.v45n3e346130	Aporta conocimiento sobre el uso de la biblioteca digital SolarSPELL como una estrategia innovadora para enseñar el cambio climático en el ámbito educativo.	Contribuye a la transformación digital de las prácticas educativas y los bibliotecarios valoran tener acceso a un mayor número de recursos bibliográficos sobre el cambio climático.	Medellín Colombia

Discusión

En el proceso de formación y construcción de personas competentes y comprometidas con la sostenibilidad ambiental a nivel mundial, las universidades desempeñan un papel trascendental. Son el punto de partida para abordar y revertir las problemáticas ambientales. Por tanto, El principio de la educación debe apuntar hacia la cooperación para que el desarrollo humano sea el centro de las actividades. En este sentido, el gestor, al elevarse a sí mismo como promotor de la propuesta cooperativista a fin de defender y promocionar el desarrollo como una estrategia de enseñanza, debe pensar en un modelo que permita mantener una organización humanizada (Schlemer-Alcântara *et al.*, 2018).

Dentro del proceso de investigación sobre el desarrollo sostenible, se destaca la importancia de la intervención de las instancias administrativas para abordar las problemáticas identificadas y aplicar medidas de manejo. Esto resalta la importancia de promover el desarrollo humano, en Colombia es fundamental abordar las dinámicas del medio ambiente, el cambio climático y la biodiversidad, pues el aumento de las capacidades de las personas deberá ir acompañado de un alivio en las presiones planetarias, para abordar la evolución en temas ambientales, entre ellos la deforestación, la afectación de la biodiversidad, la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), los efectos del cambio climático sobre los sistemas agroalimentarios y la transición energética (Bautista-Cerro & Díaz-González, 2017).

Además del desarrollo sostenible, el impacto ambiental es otro componente crucial que se enfoca en la contribución de las instituciones a la sostenibilidad económica global a través de prácticas ecoeficientes a largo plazo. Esto resalta la importancia de considerar el aspecto económico al abordar los impactos ambientales. Se discute específicamente la identificación, evaluación y valoración de los impactos ambientales generados por la

actividad humana, lo que proporciona una comprensión más profunda de los efectos ambientales asociados a diferentes actividades. por eso Uno de los grandes retos de la sociedad actual es poder convertirse en una sociedad del conocimiento y con ello mejorar la calidad de los sistemas educativos, dejando de lado el sistema tradicional de enseñanza, el cual tiene como finalidad, formar a todos de la misma manera, aprender a obedecer y ser pasivos en sus procesos de aprendizaje, la sociedad del conocimiento le da prioridad a la metacognición, donde el alumno puede entrar en un proceso de aprendizaje dinámico, capaz de aprender a pensar, aprender a innovar, aprender a emprender, a aprender a aprehender (Arredondo-Cortés, 2020).

Otro elemento de gran importancia a tener en cuenta es el cambio climático y su impacto a nivel mundial. Se presentan aportes significativos en cuanto al diseño, implementación y evaluación de estrategias relacionadas con el cambio climático en las instituciones educativas del Caribe Colombiano. Esto refuerza la importancia de las instituciones educativas como actores clave en la lucha contra el cambio climático y la promoción de la resiliencia climática. De tal forma, la crisis climática actual se constituye como un problema de todos, por lo que desde los distintos ámbitos de la sociedad es imperante tomar acciones que contribuyan a la creación de condiciones para mitigar el impacto del cambio climático. En este sentido, la educación es uno de los escenarios propicios para consolidar referentes teóricos, metodológicos y prácticos que contribuyan a este propósito. Al respecto, las universidades desempeñan un rol clave en la configuración de la mentalidad y las habilidades de los futuros profesionales (Rodríguez-Pacheco *et al.*, 2022).

Teniendo en cuenta los datos obtenidos, hay una cantidad significativa de artículos relacionados con el primer componente del desarrollo sostenible, mientras que hay un número más limitado de artículos sobre cambio climático e impacto ambiental. Esto sugiere que hay un mayor enfoque en la literatura científica sobre el desarrollo sostenible, en comparación con los aspectos específicos del cambio climático y el impacto ambiental. Sin embargo, dada la relevancia emergente, los enfoques comunes y las áreas de investigación pertinentes, también se han analizado y discutido los aportes y resultados relacionados con el cambio climático e impacto ambiental.

Conclusiones

Las universidades desempeñan un papel trascendental en la formación de personas competentes y comprometidas con la sostenibilidad ambiental a nivel mundial. Su enfoque en la promoción de la sostenibilidad en todas sus dimensiones, incluyendo el cambio climático y los impactos ambientales, es crucial para abordar y revertir las problemáticas ambientales actuales. La integración de objetivos económicos, sociales y ambientales en

las estrategias de desarrollo sostenible es necesaria para lograr un equilibrio perfecto y un verdadero desarrollo.

Además, se destaca la importancia de la intervención de las instancias administrativas en el proceso de investigación sobre el desarrollo sostenible, así como la adopción de estrategias de sostenibilidad por parte de las instituciones educativas para minimizar los impactos ambientales negativos en el planeta. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas proporcionan un marco universal para abordar la pobreza, proteger el planeta y garantizar la paz y prosperidad para todas las personas.

El análisis y gestión de los impactos ambientales generados por la actividad humana son esenciales para comprender y abordar los efectos ambientales asociados a diferentes actividades. La incorporación de la contabilidad verde en el sistema contable es crucial para cuantificar y gestionar adecuadamente estos impactos.

Asimismo, se resalta la importancia de abordar el cambio climático y promover la resiliencia climática en las instituciones educativas del Caribe Colombiano. Estas instituciones juegan un papel clave en la lucha contra el cambio climático y la implementación de estrategias para enfrentar sus impactos.

En términos de investigación, se observa un mayor enfoque en el desarrollo sostenible en comparación con aspectos específicos del cambio climático y el impacto ambiental. Sin embargo, se reconoce la importancia emergente de estos últimos y la necesidad de investigar y tomar acciones concretas en relación con ellos.

Finalmente, el análisis de los datos obtenidos resalta la importancia de las universidades y las instituciones educativas en la promoción de la sostenibilidad, el manejo de los impactos ambientales y la respuesta al cambio climático, estos aspectos son fundamentales para lograr un desarrollo sostenible a nivel global y garantizar un futuro sostenible para las generaciones venideras.

Referencias

- Alcalá, M., & Gutierrez, J. (2020). El desarrollo sostenible como reto pedagógico de la universidad del siglo XXI. *Revista Andaluza de Ciencias Sociales*, 59–80.
- Antón-Ares, P. (2019). Red Openenergy: experiencias formativas e investigadoras para el diseño instruccional accesible. *Education in the Knowledge Society (EKS)*, 19(4), 31–51. <http://revistas.usal.es/index.php/eks/article/view/eks20181943151>
- Arredondo-Cortés, S. (2020). Educación y formación docente para el desarrollo social sostenible: un comentario des- de la socioformación. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(24), 39–48.

- Báez-Hernández, A., Hernández-Medina, C., & Carrasco-Fuentes, M. (2019). Roles de la educación superior en el desarrollo agropecuario local. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2), 25–36.
- Báez-Hernández, A., Hernández-Medina, C., & Carrasco Fuentes, M. (2019). Roles de la educación superior en el desarrollo agropecuario local. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2), 25–36. <https://doi.org/10.22490/21456453.2728>
- Bautista-Cerro, M., & Diaz-González, M. (2017). Sustainability in university degrees : présence et cohérence. *Teroria Educativa*, 161–187. <https://doi.org/DOI:http://dx.doi.org/10.14201/teoredu2017291161187> LA
- Bedoya-Montoya, C., & Muñoz-Echavarría, J. (2022). La enseñanza de la sostenibilidad en la educación superior como estrategia pedagógica para una profesión integral. *Revista Interamericana de Investigación Educación y Pedagogía*, 15.
- Beuron, T., Garlet, V., Madruga, L., & Balsan, L. (2021). Estratégias Sustentáveis Nas Universidades: Um Estudo De Caso. *Revista de Administração de Roraima–RARR*, 10. <https://doi.org/10.18227/2237-8057rarr.v10i0.6217>
- Bisquert, K., Meira, P., & Agúndez, A. (2013). Ecociudadanía y educación del consumo alimentario. Buenas prácticas socioeducativas en iniciativas ciudadanas de consumo responsable. *Pedagogía Social Revista Interuniversitaria*, 1723(22), 75–89. <https://doi.org/10.7179/PSRI>
- Cabral, V. (2021). Reflexiones conceptuales sobre la educación ambiental a partir de estrategias pedagógicas. *Journal de Ciencias Sociales*, 125–135.
- Calderón-Cuartas, P., Osorio-Viana, W., Naranjo-Vasco, J., & Guzmán-Hernández, T. (2019). Formación de cultura ambiental desde el enfoque de ciclo de vida: una propuesta pedagógica para la sostenibilidad. *Ambiente y Desarrollo*, 23(44). <https://doi.org/10.11144/javeriana.ayd23-44.fcae>
- Callejas-Restrepo, M., Sáenz-Zapata, O., Plata-Rangel, Á., Holguín-Aguirre, M., & Mora-Penagos, W. (2018). El compromiso ambiental de instituciones de educación superior en Colombia. *Praxis & Saber*, 197–221. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.19053/22160159.v9.n21.2018.8928> EL
- Calles-Santoyo, M., Martínez-Conchos, J., & Ramos-Sánchez, A. (2020). La vinculación de las Instituciones de Educación Superior con el sector productivo, factor estratégico para el desarrollo social sostenible. *Journal of Social Sciences and Humanities*, 1–23.
- Camacho-Monar, M., & Valdés-Rodríguez, M. (2020). Una perspectiva filosófica y sociológica de la competencia profesional ambiental en la educación superior. *Revista Fuentes*, 22(2), 251–260.
- Canaza-Choque, F. A. (2019). From environmental education to sustainable development: challenges and tensions in times of climate change. *Revista de Ciencias Sociales*, 2019(165), 155–172.

- Cárdenas, R. (2017). Rescatar la educación ambiental para construir ecociudadanías: escenarios del contexto costarricense en la educación pública en secundaria. *Polisemia*, 24, 73–86. <https://search-proquest-com.vpn.ucacue.edu.ec/docview/2114614755?pq=-origsite-summon>
- Carvajal-Flórez, E., Toro Yepes, J., & Realpe Erazo, M. (2023). Caracterización de residuos sólidos en una institución de educación superior: caso de estudio campus Robledo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 14(1), 01–37. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-14-01-01>
- Chambi-Condori, N., & Llanque-maquera, O. (2022). Environmental impact assessment in the San Luis de Alba rock Evaluación del impacto ambiental en la cantera de roca San Luis de Alba, Puno Perú. *Dyna*, 89(220), 195–202. <https://www.redalyc.org/journal/496/49672695022/html/>
- Chamorro-González, C., Hernández-Villa, D., Posada-Arias, A., & Roldan-Vásquez, J. (2020). Formación verde en los programas de Contaduría Pública de las universidades de Antioquia. *Contaduría Universidad de Antioquia*, 77, 109–129. <https://doi.org/10.17533/udea.rc.n77a04>
- Clavijo-Castillo, R., & Bautista-Cerro, M. (2020). Inclusive education . Analysis and reflections in Ecuadorian Higher Education. *Alteralidad*, 15(1), 104–114.
- De La Ossa-Velásquez, L. M., & García-Sánchez, E. A. (2019). Sincelejo is painted in colours. Creative and sustainable interventions. *Bitacora Urbano Territorial*, 29(3), 193–200. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v29n3.67322>
- Escolar-Llamazares, M.-, Di-Giusto, C., Rico, I., De la Torre-Cruz, T., Ruiz-Palomo, E., Huelmo-García, J., Palmero-Cámara, C., & Jiménez-Eguizábal, A. (2021). Influencia de la ansiedad en la formación inicial del maestro de educación infantil. *Terra: Revista de Desarrollo Local*, 8, 392. <https://doi.org/10.7203/terra.8.20371>
- Filut, D. (2020). La paz y el desarrollo sostenible en el campo educativo, una relación visible o invisible. *Campos En Ciencias Sociales*, 8(2), 133–158. <https://doi.org/10.15332/25006681/6015>
- Flores, R. (2022). Investigación en educación ambiental. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 17, 1019–1033.
- Flórez-Restrepo, G. (2012). La educación ambiental: Una apuesta hacia la integración escuela-comunidad. *Praxis & Saber*, 1–12.
- Gil-Pérez, D., & Vilchez, A. (2017). Education for Human Rights : two domains that must be linked Humans : deux domaines qui doivent être associés. *Teoría Educativa*, 79–100. <https://doi.org/DOI: http://dx.doi.org/10.14201/teoredu201729179100> EDUCACIÓN
- Gómez-Zermeño, M., & Alemán, L. (2022). Uso de bibliotecas digitales solares para la enseñanza del cambio climático en comunidades rurales. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 45(3). <https://doi.org/10.17533/udea.rib.v45n3e346130>

- Granados-Sánchez, J. (2018). La educación para la sostenibilidad en la enseñanza de la geografía. Un estudio de caso. *Enseñanza de Las Ciencias Sociales.*, 31–44. <https://search.proquest.com/docview/1681291321?accountid=47900>
- Hernández-López, A., Luna-Nemecio, J., & Atayde-Manriquez, Ka. (2020). Cultura de Género en las Universidades en el marco de la socioformación y el desarrollo social sostenible: Análisis Documental. *Revista de Estudios Contemporáneos Del Sur Global*, 1(1), 32–44.
- Holguín-Aguirre, M., & Vargas-Lasso, W. (2021). La contabilidad ambiental en los reportes de sostenibilidad: un análisis enfocado en ocho instituciones de educación superior en Colombia. *Criterio Libre*, 19(34), 55–83.
- Hutton, B., Catalá-lópez, F., & Moher, D. (2016). La extensión de la declaración PRISMA para revisiones sistemáticas que incorporan metaanálisis en red: PRISMA-NMA. *Medicina Clínica*, xx, 10–14. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2016.02.025>
- Jiménez Martínez, N., & García-Barrios, R. (2022). Bien común y sostenibilidad de base comunitaria para México. Aportaciones de la universidad pública y la Iglesia católica. *Cuadernos de Filosofía Latinoamericana*, 43(127), 204–230. <https://doi.org/10.15332/25005375.6680>
- Kitta, I., & Cardona-Moltó, C. (2022). Competencias de estudiantes universitarios griegos para una práctica sostenible de la igualdad de género. *Bridgewater State University*, 78–102.
- Litzner-Ordóñez, L., & Rieß, W. (2019). Education for Sustainable Development in the context professors. *Ediciones Universidad de Salamanca*, 149–173.
- López-Vázquez, R., Tobón-Tobón, S., Veytia-Bucheli, M., & Juárez-Hernández, L. (2021). La mediación didáctica socioformativa en el aula para favorecer la inclusión educativa The socioformative didactic mediation in the classroom to favors educational. *Revista Fuentes*, 1–13.
- Mantilla-Falcón, M., Benítez-Gaibor, M., Loor-Intriago, M., & Váscónez-Acuña, L. (2020). La ecoeficiencia en el sector de la educación superior. Una línea base para su implementación. *Contabilidad y Negocios*, 15(29), 58–71.
- Martins-Pacheco, R., Medeiros-Machado, M., Villazón-Montalván, R., & Silva-Carvalho, C. (2019). Análise da sustentabilidade das operações de instituições federais de ensino superior com a ferramenta Stars: a experiência da Universidade Federal de Santa Catarina TT–Assessment of operations sustainability in federal institutions of higher education. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 8(2), 205–234. <https://ezp.lib.cam.ac.uk/login?url=https://www.proquest.com/scholarly-journals/análise-da-sustentabilidade-das-operações-de/docview/2332092235/se-2?accountid=9851%0Ahttps://libkey.io/libraries/603/openurl?genre=article&tau=Pacheco%2C+Renata+Martins%3Bde+M>
- Medir-Huerta, R., Heras-Colás, R., & Magin-Valenti, C. (2016). Una propuesta evaluativa para actividades de educación ambiental para la sostenibilidad. *Educacion XXI*, 19(1), 331–356. <https://doi.org/10.5944/educXX1.14226>

- Molano-Sanabria, S., Montoya-Restrepo, I., & Montoya, L. (2016). Compromiso Ambiental Universitario. El caso de la Sede Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia. *Ambiente y Desarrollo*, 20(39), 21. <https://doi.org/10.11144/javeriana.ayd20-39.caur>
- Morales-Corral, E., & Teso-Alonso, G. (2022). El estudio de la educomunicación del cambio climático en los medios ante la perspectiva de los expertos en educación ambiental. *Estudios Sobre Mensaje Periodístico*, 28(3), 549–561.
- Muñoz-Mantilla, A. (2022). Ruta formativa: hacia la configuración de una cultura de sostenibilidad ambiental. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 14(27), 132–137.
- Organización de las Naciones Unidas. (2021). *Nuestra agenda comun*. <https://www.un.org/es/content/common-agenda-report/assets/pdf/informe-nuestra-agenda-comun.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas. (2023). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible 17 objetivos para transformar nuestro mundo*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Padilla-Murcia, E., & Flores-Hinojos, I. (2022). Apropiación y empoderamiento en la educación ambiental para la sostenibilidad. *Educación y Educadores*, 25(1), 1–22. <https://doi.org/10.5294/edu.2022.25.1.1>
- Page, M., McKenzie, J., & Bossuyt, P. (2021). Declaración PRISMA 2020: Una guía actualizada para la publicación de las revisiones sistemáticas. *Revista Espanola de Cardiologia*, 74(9), 790–799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- Parra, G., Checa, M., Rosario Mesa-Barrionuevo, Ruiz-Reyes, N., & Guerrero, F. (2018). Ecological footprint assessment in the University of Jaen, a tool for environmental management. *Observatorio Medioambiental*, 21, 249–262.
- Peña-Guzman, D. (2017). Creencias y comportamientos proambientales en estudiantes de administración en universidades mexicanas en función del grado de implementación del Sistema de Gestión Ambiental (SGA). *Tesis Doctoral Universidad Autónoma de Barcelona*, 1–303.
- Pérez, D., & Camacho, A. (2023). Educación y comportamiento ambiental. Un estudio de caso. *Revista de Economía Institucional*, 25, 193–213.
- Plata-Rangel, Á., Holguín-Aguirre, M., Sáenz-Zapata, O., Mora-Penagos, W., & Callejas Restrepo, M. (2020). Compromiso de las universidades colombianas con la sustentabilidad. *Educación y Educadores*, 23(2), 159–178. <https://doi.org/10.5294/edu.2020.23.2.1>
- Prosser-Bravo, G., & Romo-Medina, I. (2019). Investigación en educación ambiental con menores en iberoamérica: Una revisión bibliométrica de 1999 a 2019. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 24(83), 1027–1053.
- Ricaurte-Burgos, A. (2019). Recepción de la ecoética en las estrategias y programas de educación ambiental : análisis comparativo entre España y Ecuador. *Estudios e Investigaciones*, 165–186.

- Rivera-Mateos, M., & Doumet-Chilán, N. (2021). Socio-environmental dynamics and tourist-recreational potential of the La Segua wetland (Ecuador): Attitudes and perceptions of local agents and visitors. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 12(2), 1–38. <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2021-02-06>
- Rodríguez-Pacheco, F., Mejía-Rodríguez, D., & Sánchez-Buitrago, J. (2022). Conocimientos y percepciones sobre el cambio climático en estudiantes universitarios. *Diversitas*, 18(1). <https://doi.org/10.15332/22563067.6305>
- Sanabria-Suárez, A., Forero-Orozco, Á., Rojas-Sabogal, A., & Castillo-Ariza, J. (2020). *Evaluación de las capacidades académicas de las instituciones de educación superior frente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una propuesta metodológica*. <https://doi.org/10.13043/DYS.86.5>
- Sánchez-Contreras, M., & Murga-Menoyo, M. (2019). El profesorado universitario ante el proceso de ambientalización curricular. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 24(82), 765–787.
- Schlemer-Alcântara, L., Cioce-Sampaio, C., & Uriarte-Zabala, L. (2018). Mondragon Cooperative Experience: Education cooperative as a process of social transformation. *CIRIEC-España Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, 93, 181–209. <https://doi.org/10.7203/CIRIEC-E.93.9217>
- Sierra, W., Medina, I., & Aguilera, H. (2018). Environmentalization of the Curriculum in Higher Education and Water Consumption in Student Households. *Gestión y Ambiente*, 21(2), 263–275.
- Soto, K., & Gómez, J. (2020). Gobernanza y movilidad urbana hacia la sustentabilidad. Comunidad educativa en Monterrey, México. *Bitácora Urbano Territorial*, 30(3), 95–107. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v30n3.80196>
- Souto-Galván, B. (2022). La educación en valores en España. Discrepancias sobre la consecución de las metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible 4 de la Agenda 2030. *Revista de Educación y Derecho*, 1 Extraordinario, 192–214. <https://doi.org/10.1344/reyd2021.1ext.37698>
- Ull-Solís, M. (2014). Competencias para la sostenibilidad y competencias en educación para la sostenibilidad en la educación superior. *Eri Estudios de Sostenibilidad*, 14, 46–59.
- Unesco. (2023). *Educación para el Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Valderrama-Hernández, R., Alcántara-Rubio, L., Sánchez-Carracedo, F., Caballero, D., & Serrate, S. (2020). ¿forma en sostenibilidad el sistema universitario español? visión del alumnado de cuatro universidades I. *Educación XXI*, 23(1), 221–245. <https://doi.org/10.5944/educXXI.23420>
- Vásquez, J., & Tobón, S. (2020). Socioformation: a Latin American perspective for rethink the education and the social sustainable development. *Religación. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades* 5(24), 5(24), 9–11.

- Vázquez-Ayala, D. (2020). La formación docente socioformativa para el desarrollo social sostenible. *Religación. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(23), 96–104. <https://doi.org/10.46652/rgn.v5i23.602>
- Vázquez, V., & Escámez, J. (2022). Universidad y sostenibilidad social desde la ética del cuidado. *Teoría de La Educación. Revista Interuniversitaria*, 34(2), 141–158.
- Zalapa-lúa, E. E. (2021). Pertinencia de una universidad pública en el desarrollo regional y sostenible . Un análisis desde la percepción de profesores universitarios. *Journal of Social Sciences and Humanities*, 1–12.

Salud mental en niños y adolescentes víctimas del conflicto armado: una revisión de literatura

Mental Health in Children and Adolescents Victims of the Armed Conflict: a literature Review

Jonathan Jesús Aníbal Sierra¹, Liliana Margarita Meza Cueto², Daymar Junior Navarro Villamizar³

Resumen

El presente estudio tuvo como principal objetivo analizar las afectaciones de salud mental en la población de niños, niñas y adolescentes víctimas del conflicto armado colombiano. Este estudio nace de un proceso de revisión documental, de tipo descriptivo, que utilizó la técnica de revisión sistemática para recopilar información muy puntual sobre la salud mental de los niños y adolescentes durante sus experiencias en los contextos de violencia. Para esto, se aplica una revisión sistemática de tipo cualitativo. En el proceso de búsqueda se indagó en diferentes bases de datos y conllevó a la selección de doce artículos de investigación, los cuales fueron de los pocos en los que se mencionaba población de niños, niñas y adolescentes. Los principales resultados hallados indican que a estas poblaciones se las asociaba fuertemente con la experimentación de diferentes hechos victimizantes que desencadenaron en muchos casos en la reproducción de diferentes afectaciones de salud mental, como trastornos depresivos, de ansiedad, del sueño, estrés postraumático, pensamientos e intentos suicidas, consumo de sustancias psicoactivas y pánico. También se les relacionó con afecciones a nivel neurológico y cognitivo, sobre todo en alteraciones relacionadas con la atención, la memoria, las funciones ejecutivas y dificultades en el control inhibitorio de la conducta. Se concluye que, definitivamente, las poblaciones de niños, niñas y

1 Psicólogo. Esp. (C) en Seguridad y Salud en el Trabajo- U. Norte. Psicólogo de la Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Correo: jonathan.anibal@cecar.edu.co. ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8996-206X>

2 Psicóloga. PhD (c) en Psicología- Universidad del Norte, Magister en Psicología- Universidad del Norte. Docente investigadora de la Facultad de Humanidades y Educación – CECAR. Correo: Liliana.mezac@cecar.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0860-7512>

3 Psicólogo de la Corporación Universitaria del Caribe- CECAR. Joven investigador en el proyecto: Desarrollo de capacidades y habilidades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación en los jóvenes profesionales del departamento de Sucre. Correo: daymar.navarro@cecar.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0613-9471>

adolescentes, que sufrieron uno o varios hechos victimizantes, han experimentado diversas afectaciones en su bienestar mental, lo que repercute seriamente en la proliferación de malestares psicológicos subjetivos que pueden ser clínicamente significativos.

Palabras clave: salud mental, niños, niñas y adolescentes, traumas psicológicos, conflicto armado colombiano, afectaciones mentales y psicológicas

Abstract

The main objective of this study was to analyze the effects on mental health in the population of children and adolescents who were victims of the Colombian armed conflict. This study stems from a descriptive documentary review process that used the systematic review technique in search of collecting very specific information on the mental health of children and adolescents during their experiences in contexts of violence. For this, a qualitative systematic review is applied. In the search process, different databases were investigated and led to the selection of twelve research articles, which were among the few in which the population of children and adolescents was mentioned. The main results found were that these populations were strongly associated with the experimentation of different victimizing events that triggered in many cases in the reproduction of different mental health affectations, such as depressive disorders, anxiety, sleep, post-traumatic stress, thoughts and suicide attempts, consumption of psychoactive substances and panic. They were also associated with disorders at the neurological and cognitive level, especially alterations related to attention, memory, executive functions, and difficulties in inhibitory control of behavior. It is concluded that, definitively, the populations of children and adolescents, who suffered one or several victimizing events, have generated in them various effects on their mental well-being that seriously affects the proliferation of subjective psychological discomforts that can be clinically significant.

Keywords: mental health, children and adolescents, psychological discomfort, Colombian armed conflict, mental and psychological affectations.

Introducción

La Comisión para el Esclarecimiento de la Verdad, la Convivencia y la No Repetición (CEV, 2022), dentro de su informe final, es enfática en referenciar los factores comunes de las víctimas del conflicto armado, que vivieron de manera directa o indirecta el rigor de la guerra y sus consecuencias durante su ciclo vital de la niñez o adolescencia, que son los estados de vulnerabilidad en sus etapas del desarrollo y que se caracterizaron, en gran medida, por deficiencias en el goce efectivo y pleno de sus derechos, que finalmente no pudieron ser garantizados por distintas razones por entes tales como el Estado, la familia y la sociedad.

La población de niños, niñas y adolescentes (NNA) dentro de la guerra no solo vivieron diferentes hechos victimizantes, sino que los vivieron en situaciones de precariedad; donde los principales territorios asediados por el conflicto interno eran signados por deficiencias en los sistemas de salud, de educación, baja presencia del Estado y ausencias en servicios básicos, que impidieron crecer dignamente al tener que vivir bajo la ley del más fuerte, ya fuere por las amenazas de los grupos al margen de la ley o por parte del Estado, puesto que la mayor presencia que hacía este era a través de su fuerza pública (CEV, 2022).

De hecho, tal como manifiestan Valencia *et al.* (2015), la población de NNA vieron vulnerados un bloque de sus derechos dentro del rigor de la guerra, como lo fueron las afectaciones que sufrieron con relación a sus derechos de acceso a la alimentación y los servicios de salud. También, lo relacionado con los derechos de desarrollo, educación, al juego y al esparcimiento; a las afectaciones de los derechos de protección, como el derecho a la vida, el reclutamiento forzado, el desplazamiento forzado, trabajo infantil e incluso abuso sexual. En esencia, esta población vivió la materialización de la guerra en la vulneración de sus derechos.

El conflicto armado colombiano fue con los niños, niñas y adolescentes; por tanto, tuvieron que vivir penurias causadas por el hambre, desnutrición, maltrato, reclutamiento, abuso sexual, estigmatización, trabajos forzados, supresiones, entre otras condiciones inhumanas que se acrecentaban por razones de edad, género, etnia y niveles de pobreza. Es tanto, que los grupos armados al margen de la ley vieron en esta población aspectos ventajosos para sus operaciones militares; en donde, niñas que fueron víctimas de desplazamiento forzado o quedaron huérfanas, fueron obligadas a asumir roles relacionados con los quehaceres domésticos y labores de inteligencia, utilizando su condición de mujeres para seducir y captar información, además de prácticas sexuales que requirieron el uso, a temprana edad, de métodos anticonceptivos o abortos que marcaron fuertemente sus vidas (CEV, 2022).

Esto no solo pasó con las niñas y las adolescentes, sino también con niños y los adolescentes, si bien no los mismos casos; en ocasiones, también vivieron el rigor de la guerra que por lo general estuvo relacionado con situaciones de alto riesgo y graves peligros, sobre todo bajo el flagelo del reclutamiento, pues eran instruidos militarmente para afrontar los combates con la fuerza pública y hacer parte de las filas de los grupos al margen de la ley (Patiño, 2015).

A partir de los datos estadísticos que brinda la comisión de la verdad, es congruente señalar en base a sus descubrimientos que las afectaciones de la población NNA dentro del conflicto no solamente fueron verídicas y atroces, sino que también existe un subregistro de las violaciones a sus derechos y de los hechos victimizantes que experimentaron. En esencia, se estima que desde 1985 hasta el 2018, 64.084 menores de edad perdieron la vida en situaciones relacionadas con el conflicto; de 1985 hasta el 2016, 28.192 menores fueron víctimas de desaparición forzada; de 1990 a 2018 se estima que 6.496 menores fueron secuestrados; de 1990 a 2017, 16.238 menores fueron reclutados por grupos al margen de la ley y 3.049.527 estuvieron inmersos en casos de desplazamiento forzado (CEV, 2022).

A pesar de ello, la CEV (2022), es consciente que el subregistro en estos datos es innegable, sobre todo en el de reclutamiento forzado, que se estima pudiese estar alrededor de los 27.101 y 40.828 casos de NNA que sufrieron de este tipo de violencia; mucho más atendiendo que este flagelo demoró en ser sancionado en Colombia. De hecho, de 25.908 casos de violencia que se registraron ante la comisión, 4.315 casos los testimonios referencian haber vivido tales hechos durante su proceso de infancia o adolescencia.

En esencia, la población NNA dentro del conflicto vivió de manera diferencial sus impactos, mientras que los Departamentos tales como Antioquia, Valle del Cauca, Cauca, Putumayo y Meta son 5 de los territorios donde estas poblaciones tuvieron que experimentar una gran variedad de hechos victimizantes y efectos de la guerra; departamentos como Vichada, La Guajira, Guainía, Quindío y Atlántico registraron menos afectaciones hacia este tipo de poblaciones. De los casos recibidos por la comisión, los casos contra este tipo de población se cebaron básicamente hacia la etapa de la adolescencia, con un 58,2%, en la niñez con un 26,9% y en la primera infancia en un 14,9%. El sexo más afectado fue el masculino con un 52,1% pero el femenino también tuvo una gran vulneración con el 47,8% (CEV, 2022). Con relación a los hechos planteados, Hewitt *et al.* (2014) son enfáticos al referenciar que el contexto de la guerra solo conlleva a la desintegración de las instituciones sociales, como la familia, las comunidades, el Estado, e interrumpe abruptamente el desarrollo socioeconómico de los territorios.

No solo eso, la población expuesta a las situaciones complejas de la guerra ve como estas van erosionando su integridad, su seguridad y, sobre todo, su estabilidad mental y emocional. Diversos autores han sido reiterativos al señalar que la población NNA por causa u ocasión de estar inmersos en conflictos bélicos enfrentan deficiencias a nivel psicológico y físico, pero también se ven seriamente afectados en su calidad de vida, su bienestar, la calidad de su red familiar y comunitaria e interfiere severamente en el acceso a la educación, al esparcimiento, la salud, la seguridad alimentaria y la prevalencia de malestares psicológicos y trastornos mentales relacionados con el estado de ánimo, de conducta o ansiedad (Miller y Rasmussen, 2010; Betancourt *et al.*, 2013; Haroz *et al.*, 2013).

El conflicto armado interno colombiano ha sido un contexto que para la población NNA ha representado la pérdida de su inocencia, palabras que sostienen Ortega *et al.* (2022), quienes refieren que la vivencia de diferentes hechos victimizantes y el ser obligados a presenciar atrocidades en contra de sus seres queridos y allegados, conllevó a que en muchos de estos niños y adolescentes emergieran profundas heridas emocionales y afectaciones psicológicas que en ocasiones suelen ser incurables; mucho más si estos tuvieron que vivir el flagelo del reclutamiento, de las violaciones que conllevan a malestares y trastornos psicológicos, que a futuro representan una incapacidad de adaptación fuera del mundo del conflicto e impide o inhabilita la capacidad de crear nuevas conexiones afectivas.

Por otro lado, Haroz *et al.* (2013), refieren que la población NNA que se expone a eventos traumáticos vinculados con la guerra puede sufrir la eclosión de desórdenes de salud mental que pueden llegar a perdurar a lo largo de su vida. Sobre todo, porque estos se encuentran en etapas del desarrollo donde su configuración de personalidad y perspectiva de vida aún está en construcción y con bases muy débiles para afrontar la dureza de la guerra.

Ya planteadas estas consideraciones, León (2017) hace mención del hecho de que, a pesar de la existencia de una gran variedad de estudios relacionados con el conflicto armado, bajo diferentes disciplinas, efectos psicológicos, trastornos, entre otras variables, son escasos los estudios que relacionan de manera específica las afectaciones de salud mental sobre las poblaciones de primera infancia, infancia y adolescencia. Los trabajos existentes datan de décadas pasadas, y son pocos los estudios actuales sobre la temática.

Considerando la importancia de la salud mental de las poblaciones de NNA que fueron afectados de manera directa e indirecta por el conflicto, el presente trabajo tiene como objetivo principal analizar las afectaciones de salud mental en la población de niños, niñas y adolescentes víctimas del conflicto armado colombiano, permitiendo así, en primera instancia, determinar qué tipo de malestares psicológicos u trastornos mentales

han eclosionado en poblaciones NNA a raíz del conflicto; así como también sintetizar las diferentes consecuencias desde la salud mental que ha padecido este grupo poblacional en la guerra. Para ello se realizó una revisión documental de trabajos investigativos más recientes, con la finalidad de indagar sobre los objetivos propuestos.

Principalmente, lo que se va a mostrar en el área de los resultados es que, aún en la actualidad, la población NNA sufre las consecuencias del conflicto y estas se manifiestan en la calidad de su salud mental, padeciendo así diferentes enajenaciones mentales y malestares psicológicos subjetivos con significancia clínica, que interfiere en el desarrollo normal de su personalidad y bienestar de vida.

Método

Tipo de investigación y diseño

El presente artículo de revisión es de tipo descriptivo y carácter documental, el cual se valió de la técnica de revisión sistemática, cuyo accionar investigativo es la recopilación de los avances científicos sobre una temática determinada, que en este caso particular trata sobre la salud mental en población de niños, niñas y adolescentes dentro del conflicto armado colombiano. Es importante destacar que la información que se recolecta no es de personas en particular, sino de estudios que se encuentran disponibles en las bases de datos. Esta revisión sistemática es de tipo cualitativa, que se encarga más de la descripción sin llegar a procesos de metaanálisis (Aguilera, 2014). Básicamente el proceso de esta revisión se sustenta en la búsqueda, extracción y análisis de la información que brindan los artículos de investigación.

Unidad de análisis

La unidad de análisis para este proceso de revisión sistemática se constituyó de 12 artículos que fueron publicados en las bases de datos, como Redalyc, Scielo, Dialnet, ProQuest y Google Académico; estos artículos solamente hacen referencia a las distintas afectaciones de salud mental que han prevalecido en población de NNA dentro del conflicto armado colombiano. Dentro de los criterios de inclusión de los artículos se colocaron como límite de tiempo los últimos cinco años (2018-2022), no obstante, se seleccionaron algunos artículos por debajo de esa fecha por dos motivos: primero, que hacían un aporte importante a la revisión; y segundo, el estudio de los efectos de la salud mental en población NNA es menos frecuente en comparación a lo que pasa con población adulta. Por tanto, se tuvo una tolerancia de trabajos hasta el año 2014. Como criterio de exclusión, no se tuvieron en cuenta documentos de literatura gris.

Por cada base datos se revisaron 20 páginas de resultados y para hallar estos artículos se utilizaron como descriptores de búsqueda *salud mental, niños, niñas y adolescentes, malestares psicológicos, conflicto armado colombiano, afectaciones mentales y psicológicos*; los cuales se combinaron para encontrar la mayor cantidad de información posible. Para la selección de los artículos se hizo una revisión de los resúmenes de los artículos y que se avistara que estos solo hicieran énfasis en la población NNA, y que cumpliera con los criterios de inclusión.

Fases de la revisión

El presente proceso de revisión sistemática se realizó bajo tres fases principales:

- La Fase 1, de identificación y selección de la muestra, se ejecutó siguiendo los criterios de inclusión previamente establecidos, además del uso de los descriptores de búsqueda en cada una de las bases de datos seleccionadas, revisando en cada una de ellas hasta 20 páginas de resultados.
- La Fase 2 de recolección de datos, se inicia con la revisión de los resúmenes de los artículos, filtrando aquellos que no se ajustaran a lo que se precisaba en la revisión y registrando en una de datos aquellos que si fueran de interés.
- La Fase 3 de análisis de datos, consistió en hacer la descripción y clasificación de los resultados principales de los trabajos investigativos; resaltando los hallazgos en materia de salud mental y que estuviesen relacionado con la población NNA dentro del conflicto armado.
- Resultados
- La sección de resultados se dividió en tres grandes partes: 1) datos generales de los artículos, 2) análisis de las unidades de estudio y 3) aspectos de salud mental. En el primer apartado se realizó una descripción general de los artículos seleccionados, sobre todo en términos de especificación metodológica, fuente o base de datos, revista. En el segundo apartado se plantea una caracterización sobre el tipo de población que hicieron parte de los estudios, edades, tipos de trastornos o malestares psicológicos o afecciones mentales, hechos victimizantes y perpetradores de los hechos si estos son señalados. Por último, se hace el análisis descriptivo de los aspectos de salud mental sobre la población NNA afectada por el conflicto armado.

Tabla 1. Flujo de Identificación y Selección de Registros de la Revisión Sistemática a través de la Metodología PRISMA.

Estudios previos	Identificación de nuevos estudios a través de las bases de datos		Identificación de nuevos estudios a través de otros métodos	
Estudios incluidos en la versión previa de la revisión (n=0)	Registros o citas identificados desde: Bases de datos: (n=4) Registros: (n=1.664) Proquest: (n=307) Redalyc: (n=1328) Scielo: (n=24) Dialnet: (n=5)	Registros eliminados antes del cribado: (n=1000) Registros eliminados por otras razones: (n=531) Registros eliminados por duplicación: (n=60)	Registros identificados a partir de: Sitios web: (n=1) Organizaciones: (n=0) Búsqueda secundaria de registros: (n=0)	
	Registros cribados: (n=89)	Registros incluidos: (n=40)		
	Publicaciones buscadas para su recuperación: (n=25)	Publicaciones no recuperadas: (n=5)	Publicaciones buscadas para su recuperación: (n=20)	Publicaciones no recuperadas: (n=9)
	Publicaciones evaluadas para decidir su elegibilidad: (n=20)	Publicaciones excluidas: Estudios que tuvieron muestras de personas que de niños presenciaron el conflicto armado y fueron indagados sobre salud mental en su etapa adulta (n=9) Mostraban datos de salud mental de niños, niñas y adolescentes de la década de los 80, 90 y principios del 2000 (n=3)	Publicaciones evaluadas para decidir su elegibilidad: (n=11)	Publicaciones excluidas Mostraban datos de salud mental de niños, niñas y adolescentes de la década de los 80, 90 y principios del 2000 (n=7)
	Estudios seleccionados: (n=8)			Estudios seleccionados: (n=4)
	Nuevos estudios incluidos en la revisión: (n=0)			
	Total de estudios incluidos en la revisión: (n= 12)			

Fuente: elaboración propia.

Datos generales de los artículos

Tabla 2. Caracterización de los Artículos Investigativos.

Autor (es)		Base de dato	Revista	Año	Objetivo principal	Metodología aplicada
-Nohelia Hewitt -Carlos Gantiva -Anderssen Vera -Mónica Cuervo -Nelly Hernández	Afectaciones psicológicas de población NNA expuestos al conflicto armado en zonas rurales	Scielo	Acta Colombiana de Psicología	2014	Determinar afectaciones psicológicas niños y adolescentes que fueron expuestos al conflicto armado.	Estudio de enfoque cuantitativa, de tipo descriptivo que contó con una muestra de 289 niños y adolescentes. Se les aplicó 6 instrumentos en búsqueda de afecciones psicológicas.
-Rosa Arias -Claudia Roa	Sufrimiento de niñas, niños y adolescentes víctimas del conflicto armado	Redalyc	Prospectiva	2015	Resaltar formas de cognición del sufrimiento con grupo poblacional de niños, niñas y adolescentes a base de antecedentes investigativos.	Revisión documental de investigaciones realizadas por el programa de trabajo social de la Universidad la Salle, con población NNA.
-Rodrigo Sarmiento	La incidencia de los trastornos de estrés postraumático, depresión y ansiedad en adolescentes y adultos que vivieron el conflicto armado entre 2005-2008	Google Académico	Revista de Medicina	2016	Conocer los predictores sintomáticos de depresión, ansiedad y estrés postraumático en poblaciones de Colombia durante el conflicto armado en los años 2005-2008.	Estudio de enfoque mixto de diseño transversal que utilizó una muestra de 4.420 personas entre los 13 y 89 años en cuatro regiones del país, como Bogotá-Soacha, Caquetá, Barbacoas-Nariño y Cauca-Putumayo. Además, como componente cualitativo hicieron revisión a 40 historias clínicas con pacientes diagnosticados.
-Kevin Guzmán -Leidy Villalba -Miryam Fernández	Emociones de los niños, niñas y adolescentes que fueron víctima de desplazamiento y vinculados a grupos armados	Google Académico	Panorama	2016	Indagar sobre las experiencias de niños, niñas y adolescentes en el desplazamiento y vinculación con grupos armados y sus incidencias emocionales.	Estudio de corte cualitativo de tipo de estudio del arte.

Autor (es)		Base de dato	Revista	Año	Objetivo principal	Metodología aplicada
-Luis Marín -Rosario Iodice -Martha Villegas	Estrés postraumático en niñas entre los 6 y 12 a raíz del conflicto armado colombiano	Google Académico	Textos y Sentidos	2016	Reflexionar acerca del trastorno de estrés postraumático en la infancia y adolescencia a raíz del conflicto armado y programas y proyectos del Estado para la recuperación emocional.	Revisión documental
-Mauricio Barrera -Liliana Calderón -Daniel Aguirre	Alteraciones cognitivas en población de niños, niñas y adolescentes con trastorno de estrés postraumático a raíz del conflicto armado	Pro-Quest	Revista CES Psicología	2017	Comparar los perfiles cognitivos de niños, niñas y adolescentes diagnosticados con trastorno de estrés postraumático derivados el conflicto armado.	El estudio de ejecutó bajo el enfoque cuantitativo de tipo transversal. Contó con grupo control y experimental; el experimental se encontraba los niños con TEPT y los otros eran niños de la misma zona geográfica, pero sin antecedentes de violencia. Contó con una muestra de 50 participantes, 25 en cada grupo a quienes se les aplicaron dos instrumentos, el MINI-KID y la Bateria Neuropsicológica Infantil.
-Linda Calderón -Javier Torrado -Manuel Riaño -Oscar Calderón -Edgar Díaz Leída Martínez -Julio César Contreras	Salud mental en la niñez y adolescencia que fueron víctimas del conflicto armado colombiano	Google Académico	No aplica	2017	Reflexionar acerca de la relación de la salud mental y las situaciones de violencia política en la población infantil y adolescentes.	Revisión documental sistemática

*Salud mental en niños y adolescentes víctimas del conflicto armado:
una revisión de literatura*

Autor (es)		Base de dato	Revista	Año	Objetivo principal	Metodología aplicada
-Claudia Vargas -Sara Zaba-raín	Tipos de apego de los niños y niñas desplazados en el conflicto armado	Dialnet	Revista Ka-tharsis	2018	Identificar los tipos de apego de los niños y niñas a sus padres que fueron desplazados por el conflicto armado.	El estudio fue de enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo, que contó con un amuestra de 30 niños entre los 9 y 12 años a los cuales se les aplicó el inventario IPPA.
-Diana Bermúdez -Carlos Garavito	Salud mental y atención psicosocial en población de niños, niñas y adolescentes y familias que fueron víctimas del conflicto armado	Redalyc	Revista Electrónica Gestión de las Personas y Tecnología	2019	Describir la percepción sobre la atención psicosocial en el contexto del conflicto armado colombiano, sobre todo en población menor de edad.	Revisión documental
-Daniel Sánchez -Guillermo Alonso -Gloria Sierra -Nadia Moratto -Carolina Salas -Jesy Buitrago -Yolanda Torres	Salud mental en adolescentes y jóvenes que fueron víctimas de desplazamiento forzado en Colombia	Pro-Quest	Revista CES Psicología	2019	Describir la actualidad de la salud mental de adolescentes y jóvenes entre los 13 y 28 años.	Estudio con enfoque cuantitativo de diseño descriptivo-transversal con intención analítica, que contó con un amuestra de 471 adolescentes y jóvenes a quienes se les aplicó la entrevista internacional diagnóstica compuesta, un cuestionario ad hoc, Test AUDIT, el APGAR, Escala MOS.
-Arturo Marroquín -Carlos Rincón -Andrea Padilla -Carlos Gómez	Salud mental en adolescentes desplazados por el conflicto armado	Pro-Quest	Children Adolescent Psychiatry Menth Health	2020	Describir la prevalencia y asociación de salud mental en adolescentes víctimas de desplazamiento.	Revisión documental con metaanálisis de los resultados de la encuesta nacional de demografía y salud mental en adolescentes de 12 a 17 años.

Autor (es)		Base de dato	Revista	Año	Objetivo principal	Metodología aplicada
-Sandra Piñeros -Jaime Moreno -Nathaly Garzón -Zulma Urrego -Daniel Samacá -Javier Eslava	Consecuencias en la salud mental de niños y adolescentes por el conflicto armado	Redalyc	Biomédica	2021	Sintetizar e identificar las consecuencias del conflicto armado en la salud mental de los niños y adolescentes.	Revisión documental sistemática

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta lo plasmado en la Tabla 2, se puede apreciar que los estudios que se encuentran relacionados con la salud mental de los niños, niñas y adolescentes presentan poca prevalencia dentro de los estudios que se han realizado, con relación a la salud mental de las víctimas del conflicto interno colombiano en los últimos años; en gran medida estos están orientados hacia la población adulta. De hecho, fueron pocos los estudios vinculados con la temática que se encontraron después del año 2018 (5 estudios); y de estos solo 2 hicieron aplicación de instrumentos para determinar dimensiones de salud mental con la población NNA; los otros 3 estudios son de revisiones documentales acerca de investigaciones de años anteriores o encuestas nacionales de salud mental.

Esta revisión, dentro de su selección, relaciona en mayor porcentaje artículos encontrados de 2017 de manera retrospectiva; aunque, aún seguía siendo inferior a la cantidad de artículos investigativos que existe alrededor de la salud mental de los adultos víctimas del conflicto armado. Dentro de las búsquedas realizadas en las bases de datos, si se referenciaban otros estudios con la población objeto de análisis; no obstante, sus publicaciones diferían del periodo establecido en los criterios de inclusión y de la tolerancia especificada. Es probable que esto se deba a diversas causas, entre ellas que a partir del año 2009, según referencia la Comisión de la Verdad, los casos de hechos victimizantes contra menores de edad, comenzaron a descender por debajo de 90 casos, hasta el año 2022 en que se registraron 13 casos.

El mayor porcentaje de casos registrados de hechos victimizantes contra menores de edad se dio a finales de la década de los noventa y principios del 2000; estas personas en la actualidad ya son mayores de edad. Por tanto, si estos participaron en estudios sobre salud mental fue en trabajos investigativos ubicados por debajo del año 2010 y si participaron en estudios recientes, serían ya tomados como muestra de adultos. Sobre

estos estudios lo más resaltante fueron las metodologías de revisión documental y estudios cuantitativos que buscaban prevalencias, relaciones y comparaciones.

Análisis de las unidades de estudio

Tabla 3. *Caracterización de las Unidades de Análisis de los Artículos Investigativos.*

Población objeto de análisis	Rango de edades	Ubicación geográfica	Malestares psicológicos clínicamente o no, significativos	Otras afecciones de tipo social y familiar	Hechos victimizantes relacionados	Perpetrador de los hechos victimizantes
Niños (289) Adolescentes (136)	7 a 16 años (M=10 años)	No refiere	Niños y adolescentes: -Ansiedad -Depresión -Problemas somáticos -Problemas de pensamiento -Problemas de atención -Agresión -Conductas internalizadas -Conductas externalizadas Adolescentes: -Estrés postraumático -Disociación abierta -Disociación fantasía	No aplica	No refiere	No refiere
Niños, niñas y adolescentes	No aplica	No aplica	-Momentos de crisis -Trauma -Duelo	-Pérdidas de familiares -Persecución	-Amenazas -Violencia sexual -Desaparición forzada -Desplazamiento forzado -Homicidio -Reclutamiento forzado -Victimas de actos terroristas Falsos positivos	FARC ELN BACRIM FF.MM
Adolescentes (751)	13 a 18 años	Bogotá-Soacha Caquetá Cauca-Putumayo Barbacoas (Nariño)	-Depresión -Ansiedad -Trastorno Estrés Post-traumático	-Exposición a violencia -Violencia doméstica -Problemas económicos -Problemas en la red de apoyo social -Disfunción familiar	-Desplazamiento forzado -Violencia sexual -Homicidio -Falsos positivos	FARC ELN FF.MM

Población objeto de análisis	Rango de edades	Ubicación geográfica	Malestares psicológicos clínicamente o no, significativos	Otras afecciones de tipo social y familiar	Hechos victimizantes relacionados	Perpetrador de los hechos victimizantes
Niños, niñas y adolescentes	No aplica	No aplica	-Miedo -Desconfianza -Deseos de venganza -Sensación de frustración -Aislamiento -Angustia -Apatía -Enojo e ira -Desesperanza -Resentimiento -Abuso de sustancias -Dificultades para establecer lazos afectivos -Síntomas depresivos	-Restricciones a actividades de ocio y libre esparcimiento -Deficiencias económicas -Exclusión -Revictimización	-Desplazamiento forzado	Grupos al margen de la ley
Niños y niñas	6 a 12 años	No aplica	-Trastorno de estrés postraumático	-Falta de aplicación de protocolos de atención psicosocial	No refieren	No refieren
Niños, niñas y adolescentes (50)	9 a 14 años	Zona de oriente antioqueño	-Trastorno de estrés postraumático -Dificultades atencionales -Alteraciones en la memoria lógica -Dificultades en el funcionamiento ejecutivo -Dificultades en el control inhibitorio y conductual	No refiere	-Extorsión -Desplazamiento forzado -Reclutamiento forzado -Desaparición forzada -víctimas de minas antipersonales	No refiere
Población infantil y adolescente	No aplica	No aplica	-Trastorno del sueño -Consumo de sustancias psicoactivas -Ansiedad -Cansancio crónico -Ideas irracionales recurrentes -Episodios de ira incontrolable -Entumecimiento emocional -Pensamiento suicida -Episodios psicóticos -Trastorno de estrés postraumático -Dificultades de atención y memoria	-Dificultades para relacionarse con otros	Desplazamiento forzado	No refiere

*Salud mental en niños y adolescentes víctimas del conflicto armado:
una revisión de literatura*

Población objeto de análisis	Rango de edades	Ubicación geográfica	Malestares psicológicos clínicamente o no, significativos	Otras afecciones de tipo social y familiar	Hechos victimizantes relacionados	Perpetrador de los hechos victimizantes
Niños, niñas y adolescentes (30)	9 a 12 años	Municipio de Arauca	-Apego ambivalente con la madre -Apego evitativo con el padre -Vergüenza -Inseguridad -Sensación de indefensión -Desesperanza -Conductas agresivas -Miedo -Ansiedad	-Pérdida de relaciones interpersonales -Pobreza	Desplazamiento forzado	No refiere
Niños, niñas y adolescentes	No aplica	No aplica	-Ansiedad -Trastorno de estrés postraumático -Consumo de sustancias psicoactivas -Problemas alimenticios -Deficiencias neurológicas -Depresión	-Disfunciones familiares y personales -Rompimiento de los vínculos psicoemocionales con el lugar de origen -Pobreza	Desplazamiento forzado	Grupos al margen de la ley
Adolescentes (208)	12 a 17 años	Medellín Bogotá Buenaventura	-Fobia específica -Trastorno de estrés postraumático -Trastorno depresivo mayor -Comportamientos suicidas -Distimia -Trastorno de pánico -Agorafobia -Trastorno negativista desafiante -Trastorno de conducta -Fobia social	-Presencia de disfunción familiar	-Despojo de tierras -Amenazas -Actos terroristas -Homicidio forzado -Desaparición forzada -Masacres -Reclutamiento forzado -Secuestro -Tortura -Víctimas de minas antipersonales	Grupos al margen de la ley
Adolescentes (1754)	12 a 17 años	Región Central Región Atlántica Bogotá Región Oriental Región Pacífica	-Depresión -Ansiedad -Psicosis -Pensamientos e intentos suicidas -Consumo de sustancias psicoactivas -Trastorno de -estrés postraumático	-Disfunción familiar -Dificultades de acceso a la educación	Desplazamiento forzado	No refiere

Población objeto de análisis	Rango de edades	Ubicación geográfica	Malestares psicológicos clínicamente o no, significativos	Otras afecciones de tipo social y familiar	Hechos victimizantes relacionados	Perpetrador de los hechos victimizantes
Niños, niñas y adolescentes	No aplica	No aplica	-Ansiedad -Trastorno de estrés postraumático -Miedo -Pánico -Depresión -Sufrimiento	-Desregulación familiar -Dificultades de acceso a la educación -Coerción de la interacción social -Pobreza	No aplica	No aplica

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta la información que se estableció en la Tabla 3, se tiene la oportunidad de llegar a diferentes deducciones que permiten dar un primer esbozo a la salud mental de los niños, niñas y adolescentes que fueron víctimas del conflicto armado interno colombiano. En primera medida, según las edades de estas poblaciones, es más que evidente que tuvieron que vivir contextos de violencia en etapas del desarrollo en donde implica la construcción de una identidad o la vivencia inocente de la vida; por tanto, la vivencia de diferentes hechos victimizantes solo hizo dar un aspecto de mayor carga a lo relacionado con su bienestar físico y mental. Además de ello, estos vieron coartados sus espacios de desarrollo e interacción social, sufriendo así diversas limitaciones por hechos del conflicto.

Los estudios que refirieron la ubicación geográfica donde se realizaron las investigaciones o se centraron sus análisis; básicamente son escenarios donde se vivió de manera directa el conflicto armado colombiano, o fueron fuentes receptoras de oleadas de familias, adultos, niños y adolescentes que se desplazaron de manera forzada atendiendo a la rudeza del conflicto. Las zonas geográficas fueron variadas, como municipios de los Departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Cauca, Nariño, Putumayo, Arauca y Bogotá.

Estos a su vez fueron víctimas en gran medida del hecho victimizante del desplazamiento forzado, pero también tuvieron que sufrir en muchos territorios otros hechos que marcaron la psiquis de este grupo poblacional, como lo fue el reclutamiento forzado, abuso sexual, amenazas, homicidios, despojo de tierras, presenciar actos terroristas, masacres, secuestro, tortura e incluso ser víctimas de minas antipersonales.

En definitiva, estos hechos de naturaleza violenta revisten una gravedad particular para esta población en específico, atendiendo que tales contextos de violencia interfirieron de diversas maneras en su desarrollo biopsicosocial y claramente en la presencia de diferentes trastornos mentales y malestares psicológicos subjetivos que en ocasiones eran clínicamente significativos. Bajo esta argumentación, se pudo establecer según los

estudios analizados que los cuadros clínicos de orden mental con mayor incidencia en la población infantil y adolescentes víctimas del conflicto armado son los relacionados con la desregulación disruptiva del estado de ánimo (depresión), trastornos de ansiedad, trastorno por estrés postraumático, consumo de sustancias psicoactivas, pensamiento e intentos de suicidios. A parte de estos, también se presentaron en gran medida otros malestares psicológicos subjetivos, como problemas de atención y memoria, apego, traumas, duelo, conductas externalizantes e internalizantes, agresividad, problemas del pensamiento, fobia social, fobias específicas, agorafobia, sufrimiento psicoemocional, entre otros.

También se ha asociado a esta población la prevalencia de sensaciones y percepciones de inseguridad, desesperanza, miedos, pánico, tristeza, irritabilidad, episodios de ira incontrolables, vergüenza, pensamientos vengativos, incapacidades para la conexión afectiva, aplanamiento afectivo, labilidad emocional, entre otros. Todo lo anterior se suma a otras afecciones de índole social y familiar, como la disfunción familiar, restricciones en sus interacciones sociales, problemas económicos y pobreza, dificultades al acceso a la educación, salud y alimentación digna, rompimiento de los vínculos psicoemocionales con el lugar de origen, pérdida de familiares, revictimización, exclusión y violencia doméstica.

En esencia, las experiencias que acontecen y son inherentes a los conflictos armados, se convierten en agentes que no solo atentan contra la seguridad y la estabilidad poblacional, sino que también atentan contra la integridad de la salud mental y bienestar psicosocial; representando así un gran volumen de sufrimiento.

En las poblaciones infantiles y adolescentes, el conflicto armado no solo supuso vivir en contextos de violencia constante, sino bajo un contexto de tensión psicológica, generadora de una diversidad de afecciones mentales que de cierta manera comprometieron sus procesos de interacción social, productividad, y habilidades para la convivencia en comunidad. Asimismo, fueron víctimas de hechos victimizantes en etapas del desarrollo donde el grado de vulnerabilidad es alto, por tanto, sus consecuencias también lo son, por ello, la gran prevalencia de trastornos mentales y malestares psicológicos en esta población víctima; que se acrecentó por factores contextuales.

Aspectos de salud mental

Del conflicto armado colombiano solo pudo surgir para la población infantil y adolescentes víctimas directas e indirectas de hechos victimizantes, una relación indisoluble entre contextos de violencia y sufrimiento; que en ocasiones implicaron la prevalencia de numerosos malestares psicológicamente significativos. El sufrimiento y los padecimientos en materia de salud mental que han sido experimentados por la población

infantil y adolescente varía en gran medida según diferentes variables o factores, como lo son la raza, edad, género, grupo social, zona geográfica, nivel de indefensión, desamparo, tipo o tipos de hecho victimizante vivido, afectaciones socioeconómicas, políticas, educativas, familiares y en definitiva derechos vulnerados (Arias & Roa, 2015).

En ese sentido, Arias & Roa (2015), son enfáticos en su estudio al señalar que la población de niños, niñas y adolescente en el marco del conflicto fue un grupo que sufrió doble victimización, ya que, no solo fueron receptores de hechos victimizantes y de contextos de violencia, sino que una gran mayoría también fueron conducidos a ser parte de la violencia armada. En esencia, fueron víctimas, parte de la servidumbre, objetos sexualizados y objetos militares usados en combate en primera línea y en acciones de inteligencia. Por tanto, estos autores refieren que los NNA son poblaciones que en algunas zonas geográficas más que otras, tuvieron que vivir un sufrimiento diferencial, con carencias y riesgos totalmente diversos.

De hecho, Guzmán *et al.* (2016) hace énfasis en que la población NNA desarrolló en el marco del conflicto emociones negativas que fluctuaron alrededor del tipo de riesgo o los hechos victimizantes experimentados y el tiempo de exposición a estos. Tales hechos, según estos autores, infieren en la eclosión de malestares psicológicos y en la reducción del bienestar psicológico, social y emocional que trunca el desarrollo, la identidad y la moralidad de esta población.

Es también importante destacar que esta población por la dureza del conflicto generó diversas emociones que, de cierta manera, solo expresaban el sufrimiento de la guerra, como lo fueron la angustia, la decepción, frustración, desconfianza, odio, ansiedad, apatía, confusión, resentimiento, tristeza, sentimientos de venganza y vergüenza, pánico, terror, entre otros. Estas emociones negativas en la población NNA, fueron coadyuvantes en muchos casos para que aparecieran diversos malestares psicológicos subjetivos, clínicamente significativos, que impactaron indudablemente en la calidad de la salud mental de los menores. De hecho, se ha establecido que tales emociones negativas, que experimentaron en esta población, contribuyeron a que fueran dominados por ellos, paralizados, transformados e incluso cambiaron sus condiciones de vida y cotidianidad (Arias & Roa, 2015).

En definitiva, desde la perspectiva de Guzmán *et al.* (2016), la población NNA obtuvieron como consecuencias de las emociones negativas, arraigadas por el conflicto, dificultades marcadas para la conciliación del sueño, insomnio, manifestaciones fisiológicas gastrointestinales, cefaleas, tensión del tono muscular; incidió en su autoestima, en su comportamiento, en la forma como sentir y pensar, representaron ideas distorsionadas, de persecución, entre otras que a muchos los conllevó hacia el abuso de sustancias psicoactivas. Además de ello, otra de las consecuencias se centra en su capacidad de

interacción y establecer lazos afectivos con los demás, en vivir plenamente su sexualidad, regresión, aislamiento, desesperanza, indiferencia hacia la muerte e incluso síntomas depresivos y desapego.

Lo anterior descrito, tal como lo expresa Hewitt *et al.* (2014), termina en muchas ocasiones en la prevalencia de malestares psicológicos mucho más exacerbados. En su estudio hace referencia al hecho que el 49% de los niños y 80% de los adolescentes padecieron algún tipo de hecho victimizante, con prevalencia de conductas externalizadas y la proporción del 70% niños y 83% adolescentes conductas internalizadas relacionadas con síntomas depresivos y ansiosos.

Es tanto que, los adolescentes presentaban una incidencia del 88% en rasgos clínicos y de riesgo en problemas de pensamiento y los niños en un 44% en problemas de somatización. El rompimiento de normas es mucho más frecuente en los adolescentes, pero para los niños es más común las conductas agresivas. Por otro lado, Hewitt *et al.* (2014), hacen referencia a la prevalencia de uno de los trastornos mentales que más se asocia con el padecimiento de eventos traumáticos en víctimas de conflictos y guerras; el trastorno de estrés postraumático (TEPT).

Para la población adolescente, el riesgo de ser diagnosticado en su momento con este tipo de afección psicológica era del 55%, mientras que el 6% ya cumplían criterios diagnósticos para el TEPT. Además de esto, la población adolescente se caracterizó por el consumo moderado de alcohol, con una incidencia de esta conducta del 93%.

A manera de síntesis, los autores anteriormente citados manifiestan que las afectaciones psicológicas que sufrieron los niños en las zonas de conflicto dentro del país, al no ser debidamente tratadas, pueden llegar a convertirse en serias patologías mentales que interferirán en el funcionamiento de su versión adulta. Bajo esta concepción, Piñeros *et al.* (2021) son claros en señalar que a través de lo estudiado sobre las poblaciones NNA y salud mental, que sus experiencias dentro del conflicto ciertamente impactan en su bienestar mental, sobre todo aquellas afecciones que se relacionan con el espectro y sintomatología depresiva, ansiedad y TEPT. Estos autores manifiestan que las primeras sensaciones de deterioro de la salud mental de estas poblaciones comienzan con su salud física, al no poder cuidarse y valerse por sí mismos. Además de esto, comienza a surgir una somatización de los síntomas de ansiedad, teniendo en cuenta el contexto de violencia en el cual se encuentran inmersos.

Es posible que, dentro del mismo contexto de violencia o salido de este, surjan síntomas disfuncionales del estado de ánimo, como dificultades para la regulación emocional, algunos problemas de conducta o de hecho, la depresión en su máxima expresión. El TEPT es una afección mental que sigue en muchos casos a las víctimas del conflicto armado de la población NNA, y se debe en gran medida a los agentes

estresores que tuvieron que experimentar estas poblaciones dentro del conflicto. Aquellos que vivieron hechos victimizantes de tipo de reclutamiento forzado, abuso sexual, desplazamiento forzado, entre otros, son proclives al surgimiento de este tipo de afección.

El abuso sexual, es un hecho que marca en gran medida a las víctimas del conflicto, en tanto que es una experiencia traumática que puede influir en síntomas prodrómicos de muchas psicopatologías. El tema del TEPT es recurrente en los estudios analizados; en ese sentido, Sarmiento (2016) afirma que la población adolescente víctima de desplazamiento forzado tuvo dos veces más riesgos de ser diagnosticados con esta afección mental, en comparación con los grupos de jóvenes que fueron desplazados, pero fueron asegurados y seis veces más probabilidad de sufrirlo en comparación con las poblaciones que se encontraban aseguradas del conflicto.

De hecho, el TEPT en los adolescentes se asoció positivamente con aquellos que vivieron los contextos de violencia. Por otro lado, Barrera *et al.* (2017), expresan que las poblaciones NNA con TEPT, tienden a presentar algunas alteraciones a nivel cognitivo; ya que, estos se les ha asociado con desempeños más bajos en procesos de atención, memoria y el funcionamiento ejecutivo. De hecho, sobresalen algunas características patognomónicas de las personas con TEPT, como la dificultad para enfocar su atención, pérdida de control del pensamiento, recuperación de datos mnémicos, distraibilidad.

Estos autores resaltan el hecho de que las víctimas con TEPT en algunos casos olvidan los contenidos semánticos de los eventos traumáticos, pero recuerdan muy fuertemente aquellos eventos con una gran carga emocional. Además de lo planteado, estas poblaciones con este trastorno presentan dificultades marcadas en la flexibilidad mental y poca capacidad para inhibir aquellos pensamientos intrusivos y respuestas automáticas.

En ese mismo sentido, Marín *et al.* (2016), hacen mención que el TEPT sobresale en las víctimas como incapacidad de poder volver a establecer unas condiciones de equilibrio a como era antes del trauma. Asimismo, son claros en señalar que el TEPT no necesariamente surgirá en todas las personas que sufrieron un evento traumático, pero si llega a ser prevalente en muchas víctimas del conflicto armado, sobre todo un poco más prevalente en mujeres, si el evento ocurrió dentro de las etapas de la infancia o adolescencia, la gravedad en sí del evento, al tipo de personalidad, factores socioeconómicos, antecedentes psiquiátricos, entre otros. Cuando el TEPT actúa en la persona afectada, se genera una serie de signos físicos que se pueden exacerbar en las noches; que puede contraer dificultades marcadas del sueño, pesadillas u ocurrir unos *flashbacks* del evento traumático de una manera constante que van generando un detrimento de la calidad de vida de la persona.

Por último, también se han asociado malestares psicológicos subjetivos en las poblaciones NNA víctimas del conflicto armado, como lo son pensamientos negativos, catastróficos, desesperanza, sensación de indefensión, desprecio por la vida, angustia, anomia, dificultades en la resolución de problemas, baja autoestima, desinterés, pensamientos e intentos suicidas, fobias específicas, consumo de sustancias psicoactivas, entre otras sensaciones displacenteras que generan un gran malestar en la víctima (Marín *et al.*, 2016; Sarmiento, 2016, Calderón *et al.*, 2017; Vargas & Zabaraín, 2018; Sánchez *et al.*, 2019; Bermúdez & Garavito, 2019; Marroquín *et al.*, 2020).

Discusión y conclusión

El objetivo principal de la presente revisión documental consistió en analizar las afectaciones de salud mental en la población de niños, niñas y adolescentes víctimas del conflicto armado colombiano. En la búsqueda de la información fue notoria la escasa información relacionada con la salud mental de la población NNA víctimas del conflicto armado; lo que de cierta manera representó un reto a la hora de hacer el análisis de la temática planteada; cuya dificultad también ha sido relacionada por otros estudios en diferentes periodos de tiempo (Guzmán *et al.*, 2016; León, 2017; Marroquín *et al.*, 2020). De los estudios hallados, solo cinco cumplieron con el criterio de tiempo establecido [2018-2022] (Vargas & Zabaraín, 2018; Bermúdez & Garavito, 2019; Sánchez *et al.*, 2019; Marroquín *et al.*, 2020; Piñeros *et al.*, 2021). No obstante, de esos cinco, solo dos no eran estudios de tipo revisión documental (Vargas & Zabaraín, 2018; Sánchez *et al.*, 2019).

De los 12 estudios analizados, solo tres involucraron la utilización de muestras combinadas entre niños, niñas y adolescentes (Hewitt *et al.*, 2014; Barrera *et al.*, 2017; Vargas y Zabaraín, 2018). De esos 12 estudios solo uno utilizó muestras de adolescentes para determinar su estado de salud mental (Sánchez *et al.*, 2019). Los demás estudios analizados tuvieron en cuenta la población NNA, pero básicamente sus estudios se basaron en la revisión documental. Con respecto al hecho victimizante más experimentado por la población NNA fue el desplazamiento forzado (Arias & Roa, 2015; Sarmiento, 2016; Guzmán *et al.*, 2016; Barrera *et al.*, 2017; Calderón *et al.*, 2017; Vargas & Zabaraín, 2018; Bermúdez & Garavito, 2019; Marroquín *et al.*, 2020). Los otros hechos más frecuentes fueron la violencia sexual, los homicidios, el reclutamiento forzado, la desaparición forzada y ser víctimas de minas antipersonales (Arias & Roa, 2015; Sarmiento, 2016; Barrera *et al.*, 2017; Bermúdez & Garavito, 2019).

La información anteriormente plasmada, es coherente con lo que plantea la CEV (2022), acerca de los tipos de hecho victimizante más padecidos por la población NNA, los cuales plantean que es en mayor proporción el desplazamiento forzado, los homicidios,

la desaparición forzada, el reclutamiento forzado, violencia sexual y secuestro. Esto, tal como lo expresa Marroquín *et al.* (2020), repercutió sensiblemente en el bienestar mental de la población NNA que vivieron de manera directa e indirecta el conflicto armado colombiano.

De hecho, a nivel de salud mental de la población NNA víctima del conflicto armado, la afección más resaltada fue el TEPT (Hewitt *et al.*, 2014; Sarmiento, 2016; Marín *et al.*, 2016; Barrera *et al.*, 2017; Piñeros *et al.*, 2021). En ese sentido, Bisson (2015) expresa que el TEPT se caracteriza por surgir luego de un periodo de haber sufrido una persona la exposición a un hecho traumático o excepcionalmente amenazante. Este autor resalta que este tipo de patología puede ocurrir con una sola exposición a un hecho traumatizante o por la exposición prolongada a la situación estresante o traumática. Es especialmente común en población infantil o adolescentes que se exponen a contextos de guerra o que son sometidos a vejámenes dentro de esta.

Asimismo, también se ha hallado con gran prevalencia que la población NNA víctima del conflicto armado es propensa a padecer trastornos relacionados con la depresión, ansiedad, trastornos del sueño, abuso de sustancias psicoactivas, pensamientos e intentos suicidas, trastorno de pánico, fobia social y trastorno negativista desafiante (Hewitt *et al.*, 2014; Sarmiento, 2016; Calderón *et al.*, 2017; Vargas & Zabaraín, 2018; Bermúdez & Garavito, 2019; Sánchez *et al.*, 2019; Marroquín *et al.*, 2020; Piñeros *et al.*, 2021). Dicho esto, Marroquín *et al.* (2020), refieren que la población NNA que fueron víctimas de hechos victimizantes son más susceptibles a un deterioro de sus condiciones de salud mental, mucho más si estas se encuentran inmersos en problemáticas sociales, como por ejemplo la discriminación y la exclusión, llevando a exacerbar los problemas psicoemocionales, adaptativos, y físicos de estas poblaciones inmersas en un contexto de violencia.

Es preciso señalar con base a lo anterior, que la población NNA a parte de los hechos victimizantes vividos, también se hallaron presencia de problemáticas sociales dentro de su experiencia de vida, como lo era la persecución, separación de la familia, violencia doméstica, problemas económicos, pobreza, inaccessión a la salud, educación, deficiencias en la seguridad alimentaria, problemas con las redes de apoyo social, disfunción familiar, restricciones de actividades de ocio y libre esparcimiento, exclusión, revictimización y rompimiento de los vínculos psicoemocionales con el lugar de origen (Arias & Roa, 2015; Sarmiento, 2016; Guzmán *et al.*, 2016; Calderón *et al.*, 2017; Vargas & Zabaraín, 2018; Bermúdez & Garavito, 2019; Sánchez *et al.*, 2019; Marroquín *et al.*, 2020; Piñeros *et al.*, 2021).

Aparte de todo lo anterior, la población adolescente mostró unos malestares psicológicos subjetivos que se podrían resumir en conductas externalizantes u

internalizantes; entre ellas se pueden encontrar lo relacionado con episodios de ansiedad, depresión, problemas somáticos, conductas agresivas, irritabilidad, momentos de crisis, deseos de venganza, sensaciones de frustración, angustia, apatía, resentimiento, ira, dificultades para establecer nuevos lazos afectivos, ideas irracionales recurrentes, pesadillas, apego, desesperanza, llanto fácil, miedo y problemas alimenticios (Hewitt *et al.*, 2014; Arias & Roa, 2015; Guzmán *et al.*, 2016; Calderón *et al.*, 2017; Vargas & Zabarain, 2018; Bermúdez & Garavito, 2019; Marroquín *et al.*, 2020; Piñeros *et al.*, 2021).

Bajo otra óptica, otras investigaciones señalaron que, población NNA también llegan a representar ciertas afecciones a nivel neurológico y cognitivo; sobre todo en alteraciones relacionadas con la atención, la memoria, las funciones ejecutivas y dificultades en el control inhibitorio de la conducta (Barrera *et al.*, 2017; Calderón *et al.*, 2017; Bermúdez & Garavito, 2019).

En esencia, ha quedado ampliamente registrado que las poblaciones NNA, siendo víctimas directas e indirectas del conflicto armado colombiano y sufrido tales hechos de violencia han generado en ellos diversas afectaciones en su bienestar mental que repercute seriamente en la proliferación de malestares psicológicos subjetivos que pueden ser clínicamente significativos. Atendiendo a las características psicológicas de los NNA, al enfrentarse a los contextos de violencia y a diversos hechos victimizantes, quedaron marcados con experiencias con una alta carga de dolor y sufrimiento que pueden llegar a representar hasta su edad adulta, trayendo consigo un malestar que se sostiene en el tiempo e interfiere ampliamente en su desarrollo personal y adaptación al medio.

Es importante destacar que las experiencias violentas o efectos del conflicto que vivieron las personas durante su niñez y adolescencia no son momentos que culminaron cuando cesaron los hechos victimizantes; antes, por el contrario, son experiencias que se acentuaron en el tiempo y que en muchos casos se exacerbaron por la necesidad de sobrevivir en esos contextos de violencia o simplemente en la búsqueda de nuevos destinos, donde tuvieron que vivir en muchos de los casos en la precariedad.

La dinámica de los niños y adolescentes dentro del conflicto no se puede rebajar del hecho de que fue traumática; muchos se convirtieron en huérfanos por la coyuntura del conflicto y no pudieron dar expresión libre de sus sentimientos y dolor; por el contrario, de manera inexplicable y por la supervivencia tuvieron que acomodarse al contexto y seguir.

Aquellos niños y adolescentes que por las consecuencias del conflicto tuvieron que desplazarse, no solo sufrieron en ver lo que eso generaba en sus familiares y el perder sus comodidades y tranquilidad; en muchas ocasiones tuvieron que irse a lugares totalmente desconocidos para ellos, adoptar nuevos roles que en su etapa del desarrollo no correspondían y experimentar la dureza de los problemas de la sociedad.

Otros niños y adolescentes tuvieron que ver como sus sueños de estudiar, jugar, reír, soñar, experimentar y en definitiva vivir se fue deshaciendo de sus manos y en cambio fueron solidificando en ellas la imposición de la guerra, un destino que pareció ineludible y que los impulsó hacia los brazos de la muerte, la desesperanza, la minusvalía emocional, los vejámenes contra su persona. Aquellos niños, niñas y adolescentes que vivieron algún hecho puntual del conflicto o la sucesión de estos; tuvieron que arreglárselas en encontrar estrategias, aunque fueran disfuncionales, para sobrevivir a los contextos de violencia, muchas víctimas optaron por irse a otros lugares, otros se refugiaron en el arte u otras fuentes que les permitiera hacer catarsis, en otros casos se enlistaron en los grupos al margen de la ley, otros tuvieron de cierta manera agachar la cabeza y sobrevivir y crecer bajo las condiciones sociales impuestas y otros simplemente cayeron en el consumo de sustancias psicoactivas como una vía para aplacar el sufrimiento y la tristeza de sus vidas.

En definitiva, la única forma de sanar heridas en esta población solo puede nacer del trabajo y la sinergia de diferentes instituciones sociales, como la familia, como entidad primaria de la sociedad y como espacio de desarrollo y esparcimiento por excelencia, creando en estos nuevos horizontes en sus vidas; el acceso a la educación como vía de cultivar sus conocimientos y dotarlos de herramientas que les permitan soñar algo totalmente diferente a lo que vivieron y claro está el Estado, como ente de gobierno que debe disponer de diferentes políticas públicas y acciones estratégicas que converjan la atención psicosocial, las oportunidades de crecimiento, la reivindicación de sus derechos, el acceso a la educación, a salud, a seguridad alimentaria, el deporte, el arte, fortalecimiento de las instituciones y organizaciones a favor de la lucha por la justicia, la verdad, la no repetición y la garantía de sus derechos.

Referencias

- Arias, R. y Roa, C. (2015). Implicaciones del sufrimiento en niñas, niños y adolescentes víctimas del conflicto armado para pensar la memoria y la reparación en clave intergeneracional: apuestas conceptuales. *Prospectiva*, (20), 115-140. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=574261384006>
- Aguilera, R. (2014). **¿Revisión sistemática, revisión narrativa o metaanálisis?** *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 21(6). https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1134-80462014000600010#:~:text=https%3A//dx.doi.org/10.4321/S1134-2D80462014000600010%C2%A0
- Barrera, M., Calderón, L., y Aguirre, D. (2017). Alteraciones en el funcionamiento cognitivo en una muestra de niños, niñas y adolescentes con trastorno de estrés postraumático derivado del conflicto armado en Colombia. *Revista CES Psicología*, 10(2), 50-65. <https://doi.org/10.21615/cesp.10.2.4>

- Bermúdez, D., y Garavito, C. (2019). Atención psicosocial y salud mental en Colombia: niños, niñas, adolescentes y familias víctimas del conflicto armado. *Revista Electrónica Gestión de las Personas y Tecnología*, 12(36), 7-14. <https://www.revistas.usach.cl/ojs/index.php/revistagpt/article/view/4256#:~:text=El%20objetivo%20de%20este%20art%C3%ADculo,%C3%A1mbito%20de%20la%20salud%20mental>.
- Bisson, J. (2015). Post-traumatic stress disorder. *Clinical Review*, 351(h6161). <https://doi.org/10.1136/bmj.h6161>
- Calderón, L., Torrado, J., Riaño, M., Calderón, O., Díaz, E., Martínez, L., y Contreras J. (2017). Salud mental en niñez y adolescencia víctimas de conflicto armado de la base de la pirámide. En M. Graterol, M. Mendoza, J. Contreras, R. Graterol, y J. Espinosa (Comp.) *La base de la pirámide y la innovación frugal en América Latina* (pp. 183-206). Astro Data S.A. https://www.researchgate.net/profile/Carolina-Ramirez-Martinez/publication/336988460_Innovacion_frugal_un_nuevo_paradigma_de_desarrollo_sostenible_en_la_base_de_la_piramide/links/5dbdacc34585151435e1fa4b/Innovacion-frugal-un-nuevo-paradigma-de-desarrollo-sostenible-en-la-base-de-la-piramide.pdf#page=181
- Comisión para el Esclarecimiento de la Verdad, la Convivencia y la No Repetición. (2022). *Hay futuro si hay verdad. No es un mal menor. Niñas, niños y adolescentes en el conflicto armado. Informe final*. (1ª ed.). <https://www.comisiondelaverdad.co/no-es-un-mal-menor#:~:text=El%20volumen%20No%20es%20un,la%20Comisi%C3%B3n%20de%20la%20Verdad>.
- Betancourt, T., Borisova, I., Williams, T., Meyers, S., Rubin, J., Annan, J., & Kohrt, B. (2013). Research review: Psychosocial adjustment and mental health in former child soldiers—A systematic review of the literature and recommendations for future research. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 54(1), 17-36. <https://doi.org/10.1111%2Fj.1469-7610.2012.02620.x>
- Guzmán, K., Fernández, M., y Villalba, L. (2016). Emociones en niños y adolescentes desde la experiencia del desplazamiento y la vinculación a los grupos armados en Colombia. *Panorama*, 10(19), 85–96. <https://doi.org/10.15765/pnrm.v10i19.834>
- Haroz, E. E., Murray, L. K., Bolton, P., Betancourt, T., & Bass, J. K. (2013). Adolescent Resilience in Northern Uganda: The Role of Social Support and Prosocial Behavior in Reducing Mental Health Problems. *Journal of Research on Adolescence*, 23(1), 138-148. <https://doi.org/10.1111/j.1532-7795.2012.00802.x>
- Hewitt, N., Gantiva, C., Vera, A., Cuervo, M., y Hernández, N. (2014). Afectaciones psicológicas de niños y adolescentes expuestos al conflicto armado en una zona rural de Colombia. *Acta Colombiana de Psicología*, 17(1), 79-89. <https://doi.org/10.14718/ACP.2014.17.1.9>
- León, L. (2017). *Efectos del conflicto armado colombiano en los niños, niñas y adolescentes*. [Tesis de maestría, Universitat Jaume I]. Repositorio UJI. https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/172668/Trabajo_Final_de_Mater_LUISA_FERNANDA_LEON_UJI_SRP531.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Marín, L., Iodice, R., y Villegas, M. (2016). El Trastorno por Estrés Postraumático (TEPT) en niños y niñas entre 6 y 12 años como consecuencia del conflicto armado en Colombia: una perspectiva neuropsicológica. *Textos y Sentidos*, (16), 121-141. <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/textosysentidos/article/view/144>
- Marroquín, A., Rincón, C., Padilla, A., & Gómez, C. (2020). Mental health in adolescents displaced by the armed conflict: findings from the Colombian national mental health survey. *Children Adolescent Psychiatry Ment Health*, 14(23). <https://doi.org/10.1186/s13034-020-00327-5>
- Miller, E., & Rasmussen, A. (2010). War exposure, daily stressors, and mental health in conflict and post-conflict settings: bridging the divide between trauma-focused and psychosocial frameworks. *Journal Social Science & Medicine*, 70(1), 7-16. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2009.09.029>
- Patiño, R. (2015). Participación niños, niñas y adolescentes en la guerra: ¿víctimas o victimarios? *Diálogos de Derecho y Política*, (17), 4-26. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/derypol/article/view/25922>
- Piñeros, S., Moreno, J., Garzón, N., Urrego, Z., Samacá, D., y Eslava, J. (2021). Consecuencias de los conflictos armados en la salud mental de niños y adolescentes: revisión de revisiones de la literatura. *Biomédica*, 41(3), 424-448. <https://doi.org/10.7705/biomedica.5447>
- Ortega, D., Guarnizo, J., y Cortina, P. (2022). Responsabilidad familiar y estatal en los casos de reclutamiento forzado de niños, niñas y adolescentes en el marco del conflicto armado colombiano: principio de corresponsabilidad. *Persona y Familia*, 11(2), 42-64. <https://doi.org/10.33539/perfa.2022.n11v2.2693>
- Sánchez, D., Castaño, G., Sierra, G., Moratto, N., Salas, C., Buitrago, C., y Torres, Y. (2019). Salud mental de adolescentes y jóvenes víctimas de desplazamiento forzado en Colombia. *Revista CES Psicología*, 12(3), 1-19. <https://doi.org/10.21615/cesp.12.3.1>
- Sarmiento, R. (2016). Trastorno de estrés postraumático, ansiedad y depresión en adolescentes y adultos expuestos al conflicto armado en Colombia 2005-2008. *Medicina*. 38(2) 134-156. <https://revistamedicina.net/index.php/Medicina/article/view/113-4>
- Valencia, M., Ramírez, M., Fajardo, M., y Ospina, M. (2015). De la afectación a nuevas posibilidades: niñas y niños en el conflicto armado colombiano. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 13(2), 1037-1050. <http://dx.doi.org/10.11600/1692715x.13234251114>
- Vargas, C., y Zabarain, S. (2018). Tipo de apego en niños y niñas desplazados por el conflicto armado colombiano. *Katharsis*, (26), 69-86. <https://doi.org/10.25057/25005731.1070>

Gestión del conocimiento como herramienta para la competitividad turística: una revisión de literatura

Knowledge Management as a Tool for Tourism Competitiveness: a Literature Review

Sol Maira Carrasco Canoles¹, Emily Andrea Lugo Hernández²

Resumen

La gestión del conocimiento se ha convertido en una estrategia clave para impulsar la innovación, la eficiencia y la sostenibilidad en el sector turístico. Este artículo presenta una revisión sistemática y un análisis bibliométrico con el objetivo de identificar el papel de la gestión del conocimiento en la literatura especializada sobre competitividad turística y los factores determinantes que la influyen. Se utilizó una metodología de revisión basada en el modelo PRISMA y se seleccionaron 17 artículos de las bases de datos WOS y Scopus que cumplieran con los criterios establecidos. Los hallazgos resaltan la importancia de promover una cultura de gestión del conocimiento y desarrollar las capacidades necesarias para aprovechar al máximo el conocimiento disponible en el sector turístico. Para lograrlo, es fundamental fomentar factores como la cultura de aprendizaje, la infraestructura tecnológica adecuada, los procesos de gestión del conocimiento y las redes de conocimiento.

Palabras clave: Gestión del conocimiento, competitividad turística, transferencia de conocimiento, Turismo, destino turístico.

Abstract

Knowledge management has become a key strategy to drive innovation, efficiency and sustainability in the tourism sector. This article presents a systematic review and a bibliometric analysis with the objective of identifying the role of knowledge management in the specialized literature on tourism competitiveness

1 Administradora de empresas titulada de la Corporación Universitaria Antonio José de Sucre, UAJS. Pasante del proyecto jóvenes investigadores de Sucre. Correo: solcarrascocsnoles96@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9986-9126>

2 Magíster en desarrollo y cultura, especialista en estadística aplicada, economista, docente de investigación, consultoría, análisis e interpretación de datos, líder de grupo de investigación GIAEC de la corporación universitaria Antonio José de Sucre. Correo: docente_investigador4@uajs.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2154-0888>

and the determining factors that influence it. A review methodology based on the PRISMA model was used and 17 articles were selected from the WOS and Scopus databases that met the established criteria. The findings highlight the importance of promoting a culture of knowledge management and developing the necessary capacities to make the most of the knowledge available in the tourism sector. To achieve this, it is essential to promote factors such as a learning culture, the appropriate technological infrastructure, knowledge management processes and knowledge networks.

Keyword: Knowledge management, tourism competitiveness, knowledge transfer, tourism, tourist destination.

Introducción

El Turismo desempeña un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo de los países, gracias a su contribución en la generación de empleo, la preservación del patrimonio, el fomento al desarrollo de infraestructuras, la mejora en los servicios, los emprendimientos locales, el fortalecimiento del intercambio cultural y la promoción de la cooperación internacional (Thommandru *et al.*, 2023; Troitiño Vinuesa, 1998). Este sector ocupa un lugar importante en la agenda política y es considerado estratégico para la consecución del desarrollo sostenible de los territorios (Lemos *et al.*, 2019).

No obstante, en un entorno cada vez más competitivo, los países se esfuerzan por fortalecer la industria turística, buscando constantemente mejorar su desempeño y mantener una ventaja competitiva (López-Gamero *et al.*, 2022; Pusk *et al.*, 2019). Para lograrlo, implementan estrategias y políticas destinadas a promover la competitividad de sus destinos turísticos (Cano, 2021; Varisco, 2008). Esto implica la identificación de los recursos turísticos disponibles, la mejora de la infraestructura y los servicios, la promoción de la formación y la innovación, así como el fomento de la competitividad de los actores del sector (Fontana *et al.*, 2019).

En este contexto, la gestión del conocimiento ha surgido como un enfoque estratégico clave para promover la innovación, la eficiencia y la sostenibilidad del sector turístico (Cano, 2021). La gestión del conocimiento se refiere al proceso de identificar, capturar, almacenar, compartir y utilizar el conocimiento existente en una organización para mejorar su desempeño y tomar decisiones informadas (Larios-Gómez, 2016). La gestión del conocimiento contribuye a la competitividad mediante la aplicación del capital intelectual, el uso de tecnologías de la información, la promoción de la innovación y una gestión adecuada de los recursos tangibles e intangibles en la búsqueda de generar ventajas competitivas y fortalecer el posicionamiento en el mercado (Lemos *et al.*, 2018).

En el ámbito turístico, la gestión del conocimiento adquiere una importancia particular, ya que el conocimiento sobre los clientes, los destinos, las tendencias del mercado y las prácticas exitosas marca la diferencia en la capacidad de una organización para adaptarse y sobresalir en un entorno dinámico (Emmendoerfer *et al.*, 2022). La capacidad de agregar valor al producto o servicio, teniendo en cuenta la información de todos los actores y elementos del entorno interno y externo, es crucial para mantenerse en el mercado y lograr la competitividad (Alonso, 2011)

En este sentido, el presente artículo busca establecer, a partir de la revisión de literatura y análisis bibliométrico, ¿cuál es el estado actual de las investigaciones en gestión del conocimiento como herramienta para la competitividad?, ¿cómo es la relación entre la gestión del conocimiento y la competitividad turística en la literatura? y ¿cuáles son los factores determinantes que se han identificado que influyen en esta relación? Para dar respuesta a los cuestionamientos, se realizó una revisión sistemática y análisis bibliométrico.

La revisión se realizó utilizando las bases de datos especializadas SCOPUS y WOS, con un periodo de referencia que abarcó desde 2013 hasta 2023. La ecuación de búsqueda se construyó utilizando los términos “competitiveness”, “tourism”, “knowledge management”. La metodología aplicada se basó en el modelo PRISMA, el cual garantiza un enfoque riguroso y transparente en la selección y análisis de los estudios incluidos en la revisión.

El objetivo de este artículo es presentar los hallazgos obtenidos de la revisión sistemática y análisis bibliométrico, proporcionando una visión integral de la relación entre la gestión del conocimiento y la competitividad turística, así como examinar los factores determinantes que influyen en esta relación. Al abordar estos cuestionamientos, se espera contribuir al conocimiento existente en el campo de estudio y ofrecer *insights* relevantes tanto para los profesionales como para los académicos involucrados en la gestión turística.

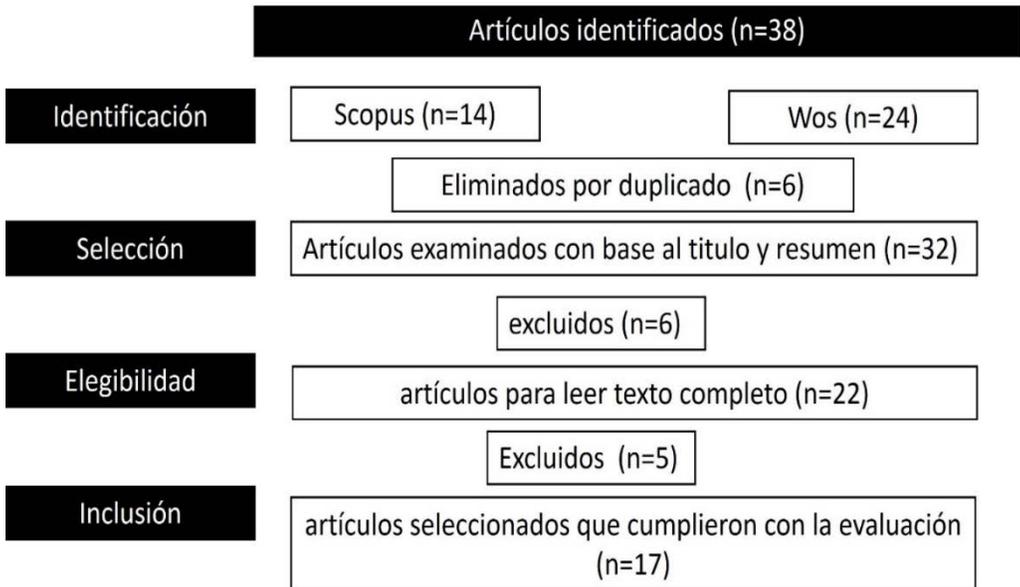
Método

Se realizó una revisión sistemática con base en la declaración PRISMA -Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses. La búsqueda se realizó utilizando como ecuación de búsqueda (“competitiveness” and “tourism” and “knowledge management”). Para el proceso de selección de los documentos se establecieron los siguientes criterios de inclusión: 1) que fueran artículos publicados en revistas científicas; 2) que estuvieran publicados en el periodo comprendido 2013-2023 y 3) los estudios fueran empíricos. Como criterios de exclusión 1) actas de congreso, libros y capítulos

de libro, memorias de eventos 2) publicaciones anteriores al 2013 y 3) artículos que respondieran a una revisión de literatura.

La revisión se llevó a cabo en las bases de datos Scopus, y Wos, las cuales se seleccionaron por ser de alto impacto a nivel académico y tener herramientas de búsqueda avanzada. La selección se hizo siguiendo los lineamientos de la declaración PRISMA. En un primer momento, se identificaron los artículos en las bases de datos seleccionadas, se eliminaron los documentos duplicados, se hizo una revisión de los títulos y resúmenes y para finalizar la lectura del texto completo de los artículos elegidos. La última revisión se llevó a cabo el 15 de mayo de 2023.

Ilustración 1. Selección de Artículos



En la identificación se seleccionaron 38 artículos, de los cuales se eliminaron 6, por estar duplicados en las bases de datos de referencia; en la selección, al revisar el título y el resumen, se excluyeron 6 artículos, al no relacionarse con las variables de la investigación; para la elegibilidad se leyeron 22 investigaciones y se seleccionaron para el análisis bibliométrico 17 estudios empíricos, que respondían a las preguntas de investigación y los criterios de inclusión y rigor científico. Para el análisis bibliométrico, se utilizó el software R studio, utilizando el paquete Bibliometrix para el análisis de datos y para la visualización Biblioshiny.

Resultados

Las categorías utilizadas para la recolección, organización y análisis de la información fueron título, año, autor, país, fuente de publicación, resumen, palabras claves, idioma, número de citas y métodos, las cuales se plasmaron en una matriz de información.

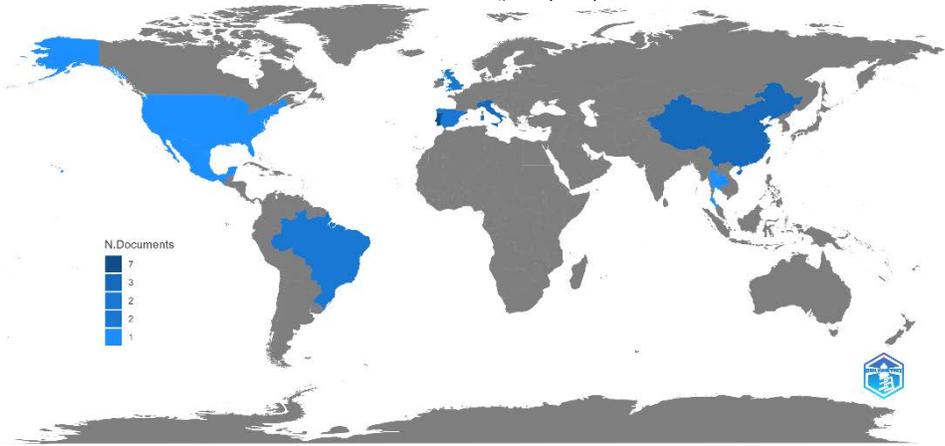
Para la revisión y análisis bibliométrico se realizó un análisis cuantitativo y cualitativo de los 17 artículos, la síntesis cuantitativa tiene como objetivo proporcionar información general de las publicaciones: año de publicación, fuente de publicación, lugar de publicación, idioma, métodos e instrumentos empleados, relevancia de los artículos por número de citas. El análisis cualitativo se centra en el contenido de las publicaciones especialmente en la descripción de cómo se ha abordado la relación entre gestión del conocimiento y competitividad turística en la literatura especializada y cuáles han sido los factores identificados en los estudios empíricos que permiten a una organización obtener ventaja competitiva a partir de esa relación.

Síntesis cuantitativa

En relación con el año de publicación, los artículos empíricos seleccionados entre el 2013 y el 2023 denotan un incremento en el número de publicaciones a partir del 2020, lo que resalta la tendencia creciente de investigaciones alrededor de la gestión del conocimiento y el interés de investigadores en explorar la influencia de esta en la competitividad del sector turístico en la última década.

El 88% de las publicaciones seleccionados por su relevancia y pertinencia con la pregunta propuesta, fueron escritos en inglés, y en una menor proporción español (6%) y portugués (6%). Las investigaciones fueron publicados principalmente en Portugal (42%), Italia (17%) y China(17%); y en menor proporción en países como Brasil, Reino Unido, México, Tailandia y Estados Unidos (ver Ilustración 2).

Ilustración 2. Producción científica por países 2013-2023.



Fuente: Scopus-Wos.

En torno al tipo de investigación se evidencia un mayor número de investigaciones cuantitativas (59%), en las que se utilizaron como técnica de investigación instrumentos de medición, en algunos casos dirigidos a usuarios u operadores turísticos, especialmente hoteles; seguidamente, hay un número importante de investigaciones cualitativas (29%) que marcan un cambio en el paradigma con que históricamente ha analizado el fenómeno (Emmendoerfer *et al.*, 2022), al integrar técnicas de investigación cualitativa a la comprensión de la gestión del conocimiento en la competitividad turística, hecho que se refleja también en el número de publicaciones con enfoque mixto, 12%, que involucra a ambos métodos de investigación.

Los autores más representativos, de acuerdo con la relevancia y el grado de citación de sus trabajos de la selección de artículos, fueron Álvaro Días, asociado a la Universidad Lusófona en Lisboa, Portugal; Rhodri Thomas, de la Universidad de Leeds Beckett en Reino Unido; Emma Wood, de Cavendish Hall, vinculada a la Universidad Metropolitana de Leeds en Reino Unido; Chris Cooper, adscrito a la Universidad de Leeds Beckett, Reino Unido; quienes, en la última década, han publicado entre 3 y 4 artículos relacionados con la gestión del conocimiento y el sector Turismo; sus publicaciones han estado enfocadas principalmente en las áreas de economía y negocios (45%), ciencias sociales (33.3%), ciencias de la computación y tecnología (21%) y ciencias ambientales (12%).

Tabla 1. *Citación por artículo y autor*

Título	Autor	# Citas
Innovation in tourism: Re-conceptualizing and measuring the absorptive capacity of the hotel sector	Thomas R., Wood E.	122
The absorptive capacity of tourism organizations	Thomas, R; Wood, E	90
The role of technology and institutions in tourism service ecosystems: Findings from a case study	Barile S., Ciasullo M.V., Troisi O., Sarno D.	67
Developing sustainable business models: local knowledge acquisition and tourism lifestyle entrepreneurship	Dias, A; Silva, GM; Patuleia, M; Gonzalez-Rodriguez, MR	60
Effect of internal marketing on knowledge sharing and organizational effectiveness in the hotel industry	Yang, JT	54
The Situation of Learning and Prospects for Improvement in a Tourism Organization	Svagzdiene, B; Jasinskas, E; Fominiene, VB; Mikalauskas, R	51
Managing tourism knowledge	Cooper C.	44
Transforming local knowledge into lifestyle entrepreneur's innovativeness: exploring the linear and quadratic relationships	Dias Á., Silva G.M., Patuleia M., González-Rodríguez M.R.	22
Analyzing Big Data through the lens of customer knowledge management: Evidence from a set of regional tourism experiences	Del Vecchio P., Secundo G., Passiante G.	13
Prediction of knowledge management for success of franchise hospitality in a post-pandemic economy	Hsieh H.-C., Nguyen X.-H., Wang T.-C., Lee J.-Y.	13
A rough set-based corporate memory for the case of ecotourism	Huang C.-C., Liang W.-Y., Tseng T.L.B., Wong R.-Y.	9
Local Knowledge Management and Innovation Spillover: Exploring Tourism Entrepreneurship Potential	Dias Á.L., Gomes M.F.M., Pereira L., Costa R.L.	4
Smart tourist destinations and knowledge management: possible convergences [Destinos turísticos inteligentes e gestão do conhecimento: possíveis convergências]	Nunes R.F., Medaglia J., Stadler A.	2
Dynamic capabilities and innovation: Origin of competitiveness in tourism service companies in México [Capacidades dinámicas e innovación: Origen de la competitividad en empresas de servicios turísticos en México]	Guadalupe E.G.I., Yesenia C.M., Marisol S.G.	1

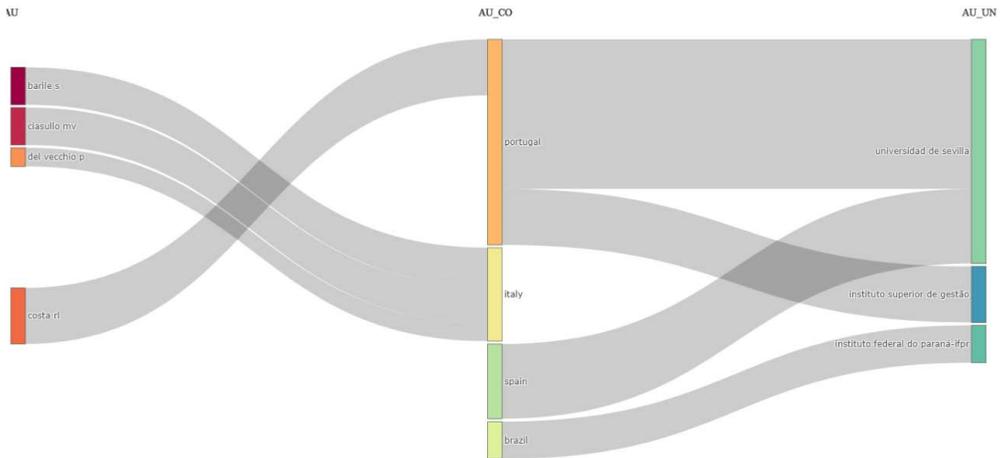
Fuente: *Wos – Scopus.*

En cuanto a la afiliación institucional de los autores, se observó que la Universidad de Sevilla en España fue la institución con mayor número de publicaciones, lo cual refleja su liderazgo en la investigación sobre la gestión del conocimiento para la competitividad

turística; de igual forma instituciones como Instituto Federal Do Paraná-IFPR y el Instituto Superior de Gestão, de Brasil y Portugal, también representan instituciones filiales de los investigadores en este campo.

El análisis bibliométrico, permitió evidenciar colaboración entre investigadores de Portugal-España y Estados Unidos-China, lo que podría asociarse a redes académicas y programas de movilidad que facilitan la colaboración internacional, fortalezas científicas y tecnológicas específicas de cada país, así como el acceso a recursos y financiamiento compartidos que facilitan la investigación en el sector.

Ilustración 3. Relación entre Autores, Países e Instituciones destacadas.



Fuente: Wos y Scopus.

Al observar las relaciones entre los 5 autores, países de origen e instituciones asociadas a las investigaciones utilizadas para el análisis bibliométrico (Ilustración 3) es posible identificar que pese a las colaboraciones entre autores, existen otros países como Italia y Brasil que se destacan en estudios asociados a la temática, sin necesariamente contar con investigadores destacados en el campo; el país con mayor numero de investigadores de gestión del conocimiento y competitividad turística es Italia.

Al revisar los términos claves (Ilustración 4) más utilizados en las publicaciones a través de la nube de palabras, es posible observar la palabra *competitividad* como la más destacada, seguida de gestión del conocimiento, metodología, apropiación, marco referencial, que sugiere que existe un enfoque significativo en comprender cómo diseñar una metodología para la gestión del conocimiento y la competitividad de la industria turística, así como interés en identificar sus marcos de referencia.

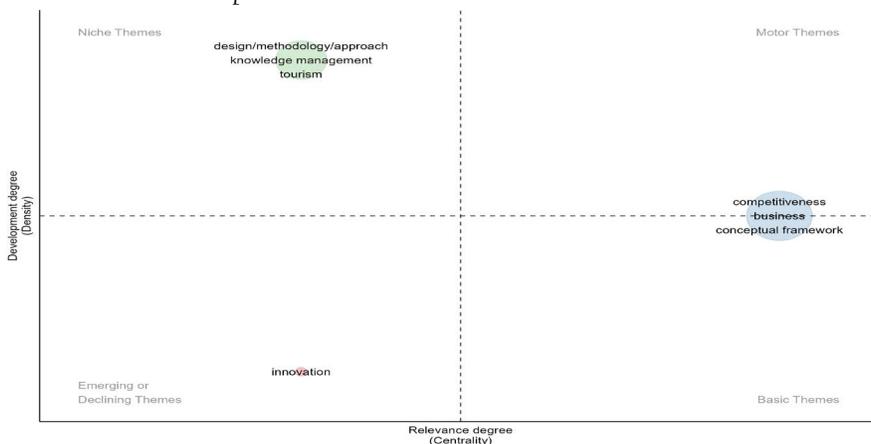
Ilustración 4. Términos relevantes en la Literatura.



Fuente: Vos – Scopus.

Otros términos importantes que se destacan en la nube de palabras incluyen *innovación*, *negocios*, *colaboración* y *hoteles*. Estos conceptos sugieren que la investigación se centra en explorar cómo la innovación, la transferencia de conocimiento y la colaboración entre actores del sector turístico pueden impulsar la competitividad y mejorar el desempeño empresarial, especialmente en los hoteles. Dentro de la nube de palabras también resaltamos el término *coronavirus*, asociado a la pandemia generada por Covid 19, que afectó al sector turístico negativamente, pero permitió generar posteriormente un impulso en la búsqueda de innovación y sostenibilidad (Abbas *et al.*, 2021), generando un nuevo campo de interés creciente en comprender cómo la gestión del conocimiento puede contribuir a prácticas turísticas sostenibles.

Ilustración 5. Mapa de Correlación de Términos relevantes en la Literatura



Fuente: Vos – Scopus

Al correlacionar los términos más relevantes (Ilustración 5), también es pertinente destacar que la literatura seleccionada para el análisis bibliométrico muestra concentración en 3 campos; por una parte, en el diseño de metodologías para la apropiación, la gestión del conocimiento turístico; por otra parte, asociado a la comprensión de marcos referencias de la gestión y transferencia de conocimiento para la competitividad en empresas y negocios del sector, y un número menor de estudios destinados a estudiar la innovación como elemento clave en la gestión del conocimiento y la competitividad turística.

Síntesis cualitativa

De acuerdo con lo evidenciado en la revisión de literatura, la gestión del conocimiento desempeña un papel fundamental en el sector turístico, al abordar de manera crucial la adaptación, supervivencia y competitividad de las organizaciones frente a un entorno en constante cambio. Su fundamento radica en la transferencia y uso efectivo del conocimiento, contribuyendo tanto a la competitividad de las organizaciones como de los destinos turísticos.

En la literatura la gestión del conocimiento para la competitividad es visibilizada por un enfoque empresarial (Lopes *et al.*, 2022; Esparza *et al.*, 2022; Larios-Gómez, 2016) asociando a la gestión las empresas de las habilidades y la experiencia de sus empleados, en pro de la mejora de la calidad del servicio, y un segundo enfoque dirigido a la competitividad de un destino turístico como elemento clave para el crecimiento del sector (Alonso, 2011; Fontana *et al.*, 2019; René *et al.*, 2023).

La capacidad dinámica de la gestión del conocimiento tiene un efecto positivo en la competitividad de las empresas de servicios turísticos. Esto significa que las empresas que gestionan eficazmente sus recursos de conocimiento, como las habilidades y la experiencia de sus empleados, tienen más probabilidades de ser competitivas en el mercado. La literatura sugiere que lograr una sinergia entre las capacidades dinámicas, incluida la gestión del conocimiento, mediante una gestión adecuada de los recursos y las capacidades, es esencial para mejorar la competitividad de las empresas de servicios turísticos (Esparza *et al.*, 2022).

Además, la revisión de literatura destaca la importancia de la gestión efectiva del conocimiento en el intercambio de conocimientos necesarios para la innovación. La asimilación y transformación del conocimiento local son factores cruciales para la adquisición de conocimiento local y la promoción de la innovación en el Turismo. Por lo tanto, las organizaciones turísticas deben centrarse en estrategias de comunicación empresarial y en el establecimiento de vínculos con la comunidad local para aprovechar al máximo el conocimiento disponible y fomentar la innovación (Lopes *et al.*, 2022; Thomas & Wood, 2014; Mota *et al.*, 2022; Yang, 2015).

En el contexto de la competitividad turística, la revisión de literatura también destaca el papel de la capacidad de absorción en el sector. La capacidad de absorción se refiere a la habilidad de las organizaciones turísticas para adquirir, asimilar, transformar y aplicar conocimiento externo. En un entorno empresarial altamente competitivo, esta capacidad se convierte en una ventaja clave. La adquisición de conocimiento externo, su transformación interna y su aplicación práctica son procesos fundamentales para crear una ventaja competitiva en el sector turístico. Por lo tanto, es fundamental contar con mecanismos internos de coordinación y apoyo técnico que faciliten la gestión del conocimiento y el desarrollo de capacidades de absorción en las organizaciones turísticas (Lim & Ok, 2023; Thomas & Wood, 2015).

Otro aspecto destacado en la revisión de literatura es la relevancia de la gestión del conocimiento para la comunicación interna y la mejora del desempeño organizacional en la industria hotelera. Se enfatiza que una comunicación efectiva dentro de la organización, especialmente a través de medios y sistemas de gestión del conocimiento, contribuye a la transferencia de conocimiento y al aprendizaje organizacional, mejorando así la competitividad de la empresa. Además, se resalta la importancia de la gestión del conocimiento en el fomento de la colaboración y el trabajo en equipo, lo que a su vez impacta positivamente en el desempeño organizacional (Chin Hsieh *et al.*, 2020; Lim & Ok, 2023; Thommandru *et al.*, 2023; Mota *et al.*, 2022).

La gestión del conocimiento en el Turismo abarca diversos usos y aplicaciones relevantes. La revisión de literatura destaca su papel en la mejora de la calidad del servicio y la eficiencia operativa en el sector. Se resalta la influencia positiva de la calidad de los servicios electrónicos (en las ventajas competitivas de las empresas hoteleras y turísticas). La fiabilidad y eficiencia de los servicios electrónicos se correlacionan con aspectos como las relaciones con los clientes, las redes empresariales, el aprendizaje organizativo, la productividad y la orientación hacia la innovación empresarial. En este sentido, es importante garantizar la confiabilidad de los sitios web de servicios en línea y brindar un soporte adecuado a los clientes a través de estos medios (Del Vecchio *et al.*, 2018; Mota *et al.*, 2022; Yang, 2015).

Asimismo, diversos estudios señalan que las capacidades de innovación de las empresas hoteleras y turísticas se ven influenciadas por el conocimiento y las habilidades de gestión del conocimiento, especialmente en situaciones de crisis. Se ha observado que el intercambio de conocimiento, tanto interno como externo, contribuye al aumento de las actividades innovadoras y mejora el rendimiento de la innovación en las organizaciones turísticas. Esto resalta la necesidad de promover un ambiente propicio para la creación y difusión del conocimiento en el sector (Del Vecchio *et al.*, 2018; Lopes *et al.*, 2022; Lim & Ok, 2023).

En el contexto de la crisis causada por el Covid-19, la gestión del conocimiento se ha vuelto aún más relevante para la competitividad turística. La revisión de literatura muestra cómo las organizaciones turísticas han utilizado la gestión del conocimiento como una herramienta para adaptarse a los desafíos y aprovechar las oportunidades en medio de la pandemia. La gestión del conocimiento ha sido clave para identificar y compartir buenas prácticas, implementar medidas de seguridad y salud, desarrollar estrategias de marketing adaptadas, y promover la colaboración y la resiliencia en el sector turístico (Abbas *et al.*, 2021).

Sin embargo, en la literatura también se destaca que el Turismo ha mostrado dificultad en la implementación de la gestión del conocimiento. El sector Turismo muestra una marcada resistencia hacia la gestión del conocimiento, evidente en la falta de colaboración con investigadores y la generación de nuevos conocimientos. Esta resistencia puede atribuirse a la falta de conciencia sobre los beneficios de la gestión del conocimiento, la orientación a resultados a corto plazo y la falta de una cultura de colaboración y aprendizaje (Birendra KC *et al.*, 2021; Cooper, 2015; Emmendoerfer *et al.*, 2022)

Factores determinantes de la gestión del conocimiento como herramienta para la consecución de la competitividad turística

En lo relacionado con los factores que permiten a la gestión del conocimiento ser herramienta para la consecución de la competitividad turística, los resultados derivados de la revisión bibliográfica permiten identificar diversos factores como la cultura del aprendizaje, la infraestructura tecnológica, el valor de las redes y colaboración y el establecimiento de procedimientos formales de gestión. Específicamente, sobre el primer factor, la literatura destaca que una cultura de aprendizaje que fomente la curiosidad, la creatividad y el intercambio de conocimiento dentro de las organizaciones turísticas, permite generar nuevo conocimiento y facilitar su difusión y aplicación en el sector (Birendra KC *et al.*, 2021; Emmendoerfer *et al.*, 2022; René *et al.*, 2023).

La implementación de una infraestructura tecnológica sólida es fundamental para la gestión efectiva del conocimiento en cualquier organización. Esta infraestructura proporciona la base tecnológica necesaria para capturar, almacenar, organizar y distribuir el conocimiento de manera eficiente y eficaz. Además, mejora la accesibilidad y disponibilidad del conocimiento, facilitando la toma de decisiones informadas (Lemos E *et al.*, 2018). También fomenta la colaboración y el intercambio de ideas entre los miembros del equipo, lo que impulsa la innovación. Una infraestructura tecnológica adecuada proporciona herramientas de búsqueda y recuperación de información

avanzadas, optimizando el proceso de encontrar conocimiento relevante que permita la competitividad del sector (Barile *et al.*, 2017; Del Vecchio *et al.*, 2018).

Dentro de los factores necesarios para que la gestión del conocimiento impacte en la competitividad turística también se enfatiza la importancia de establecer procesos formales de gestión del conocimiento, que incluyan la identificación, captura, transferencia y mejora continua del conocimiento (Thomas & Wood, 2015; Mota *et al.*, 2022); así como el valor de la colaboración y las redes de conocimiento con otras organizaciones turísticas, instituciones académicas y expertos en el campo del Turismo que impulsen la competitividad del sector (Birendra KC *et al.*, 2021; Lopes *et al.*, 2022; Alonso, 2011).

Conclusión

En conclusión, el análisis de los artículos empíricos seleccionados entre 2013 y 2023 revela un incremento en el número de publicaciones a partir de 2020, lo que destaca la creciente tendencia de investigaciones en gestión del conocimiento y su influencia en la competitividad del sector turístico, donde países como Portugal, Italia, Brasil, Estados Unidos y España representan un liderazgo en la generación de producción intelectual de calidad sobre este campo de conocimiento.

La revisión de literatura permite identificar que la gestión del conocimiento desempeña un papel crucial en la competitividad turística. destaca su influencia en la capacidad de innovación, el intercambio de conocimientos, la absorción de conocimientos externos, la mejora de la calidad del servicio, la comunicación interna y la adaptación a situaciones de crisis como la ocasionada por el Covid-19. Estos hallazgos resaltan la importancia de promover una cultura de gestión del conocimiento y desarrollar las capacidades necesarias para aprovechar al máximo el conocimiento disponible en el sector turístico.

Finalmente, en la literatura también se visualiza que, para lograr una gestión efectiva del conocimiento que impulse la competitividad turística, es necesario promover una cultura de aprendizaje, contar con una infraestructura tecnológica adecuada, establecer procesos de gestión del conocimiento y fomentar la colaboración y las redes de conocimiento. Estos factores permitirán a las organizaciones turísticas aprovechar al máximo el conocimiento disponible, adaptarse a los cambios y generar innovación en el sector.

Referencias

- Abbas, J., Mubeen, R., Iorember, P. T., Raza, S., & Mamirkulova, G. (2021). Exploring the impact of Covid-19 on tourism: transformational potential and implications for a sustainable recovery of the travel and leisure industry. *Current Research in Behavioral Sciences*, 2, 100033. <https://doi.org/10.1016/J.CRBEHA.2021.100033>
- Cano Alex. (2021). Evaluación de las dimensiones del modelo de destino turístico inteligente y la relación de la gestión pública en su impulso, caso de Cozumel, México 2015-2019. [Universidad de Quintana Roo]. In *Exploraciones, intercambios y relaciones entre el diseño y la tecnología*. <https://doi.org/10.16/CSS/JQUERY.DATATABLES.MIN.CSS>
- Baptista, J. M. L., Pocinho, M., & Nechita, F. (2019). Tourism and Public Policy. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series V: Economic Sciences*, 12(61), 77–86. <https://doi.org/10.31926/BUT.ES.2019.12.61.1.11>
- Barile, S., Ciasullo, M. V, Troisi, O., & Sarno, D. (2017). The role of technology and institutions in tourism service ecosystems: Findings from a case study. *TQM Journal*, 29(6), 811–833. <https://doi.org/10.1108/TQM-06-2017-0068>
- Cooper, C. (2015). Managing tourism knowledge. *Tourism Recreation Research*, 40(1), 107–119. <https://doi.org/10.1080/02508281.2015.1006418>
- Del Vecchio, P., Secundo, G., & Passiante, G. (2018). Analyzing Big Data through the lens of customer knowledge management: Evidence from a set of regional tourism experiences. *Kybernetes*, 47(7), 1348–1362. <https://doi.org/10.1108/K-07-2017-0273>
- Dias, Á. L., Gomes, M. F. M., Pereira, L., & Costa, R. L. (2022). Local Knowledge Management and Innovation Spillover: Exploring Tourism Entrepreneurship Potential. *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology*, 13(1). <https://doi.org/10.4018/IJSSMET.298671>
- Emmendoerfer, L., Lincoln Leite De Lacerda, L., Otowicz, M. H., Augusto Biz, A., & Biz, A. A. (2022). Turismo e gestão do conhecimento: uma revisão integrativa da literatura. *REVISTA DE TURISMO Y PATRIMONIO CULTURAL*, 20, 757–778. <https://orcid.org/0000>
- Ferreras, A., & Hugo, V. (2011). *Un modelo integral para evaluar la competitividad de destinos turísticos basado en la identificación e integración de factores críticos de éxito*. De las palmas canarias .
- Fontana, R. de F., Gadotti dos Anjos, S. J., Lopes Guerrilha Santos Pinto, P. S., & da Silva Añaña, E. (2019). Gestión de destinos turísticos: Un análisis comparativo entre dos destinos consolidados en Brasil y Portugal. *Estudios y Perspectivas En Turismo*, 28(1), 01–20. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-17322019000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Guadalupe, E. G. I., Yesenia, C. M., & Marisol, S. G. (2022). Dynamic capabilities and innovation: Origin of competitiveness in tourism service companies in Mexico [Capacidades dinámicas e innovación: Origen de la competitividad en empresas de servicios turísticos en Mé-

- xico]. *Revista de Ciencias Sociales*, 28(ESPECIAL 6), 395–411. <https://doi.org/10.31876/rcs.v28i.38854>
- Hsieh, H.-C., Nguyen, X.-H., Wang, T.-C., & Lee, J.-Y. (2020). Prediction of knowledge management for success of franchise hospitality in a post-pandemic economy. *Sustainability (Switzerland)*, 12(20), 1–27. <https://doi.org/10.3390/su12208755>
- Birendra KC, Dhungana, A., & Dangi, T. B. (2021). Tourism and the sustainable development goals: Stakeholders' perspectives from Nepal. *Tourism Management Perspectives*, 38, 100822. <https://doi.org/10.1016/J.TMP.2021.100822>
- Larios-Gomez, E. (2016). La Gestión de la Competitividad en la MIPYME Mexicana: Diagnóstico Empírico desde la Gestión del Conocimiento. Management of the Mexican Micro, Small and Medium Enterprise Competitiveness: Empirical Diagnostics in Knowledge Management. *Revista de Administração Da Unimep*, 14, 177–209. <https://doi.org/10.15600/1679-5350/rau.v14n2p177-209>
- Lemos E, Moscardi, E. H., Alves Pinto, M. J., & Nakatani, M. S. M. (2018). LAS RELACIONES ENTRE LA INFORMACIÓN TURÍSTICA Y LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN. *Estudios y Perspectivas En Turismo*, 27, 569–587. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180757123006>
- Lim, S. E., & Ok, C. M. (2023). Realizing potential through absorptive capacity to create competitive advantage in hospitality organizations. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CONTEMPORARY HOSPITALITY MANAGEMENT*. <https://doi.org/10.1108/IJCHM-07-2022-0820>
- López-Gamero, M. D., Pereira-Moliner, J., Molina-Azorín, J. F., Tarí, J. J., & Pertusa-Ortega, E. M. (2022). SOSTENIBILIDAD Y DESEMPEÑO EN LA INDUSTRIA HOTELERA: EL PAPEL MEDIADOR DE LAS VENTAJAS COMPETITIVAS. *Cuadernos de Turismo*, 49(49), 105–130. <https://doi.org/10.6018/TURISMO.521811>
- Pérez, Á. R., Andrade-Palacios, J.-C., Valdivia, O. A., & Almeida, J. G. B. (2023). Sustentabilidad, Responsabilidad Social Empresarial y co-creación de valor como herramientas para el desarrollo turístico de Imbabura. *El Periplo Sustentable*, 44, 273–292. <https://doi.org/10.36677/ELPERIPLO.V0I44.16782>
- Thomas, R., & Wood, E. (2014). Innovation in tourism: Re-conceptualising and measuring the absorptive capacity of the hotel sector. *Tourism Management*, 45, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2014.03.012>
- Thomas, R., & Wood, E. (2015). The absorptive capacity of tourism organisations. *ANNALS OF TOURISM RESEARCH*, 54, 84–99. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2015.06.004>
- Thommandru, A., Espinoza-Maguiña, M., Ramirez-Asis, E., Ray, S., Naved, M., & Guzman-Avalos, M. (2023). Role of tourism and hospitality business in economic development. *Materials Today: Proceedings*, 80, 2901–2904. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.07.059>
- Troitiño Vinuesa, M. Á. (1998). Turismo y desarrollo sostenible en ciudades históricas. *Ería: Revista Cuatrimestral de Geografía*, ISSN 0211-0563, ISSN-e 2660-7018, N° 47, 1998 (Ejemplar

Dedicado a: El Turismo En Las Ciudades Históricas), Págs. 211-228, 47, 211–228. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=34882&info=resumen&idioma=SPA>

- Varisco, C., & Mantero, J. C. (2008). *DESARROLLO TURÍSTICO Y DESARROLLO LOCAL: La Competitividad de los Destinos Turísticos de Sol y Playa*.
- Veiga, P. M., Fernandes, C., & Ambrosio, F. (2022). Knowledge spillover, knowledge management and innovation of the Portuguese hotel industry in times of crisis. *JOURNAL OF HOSPITALITY AND TOURISM INSIGHTS*. <https://doi.org/10.1108/JHTI-08-2021-0222>
- Wilke, E. P., Costa, B. K., Freire, O. B. D. L., & Ferreira, M. P. (2019). Interorganizational cooperation in tourist destination: Building performance in the hotel industry. *Tourism Management*, 72, 340–351. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2018.12.015>
- Yang, J.-T. (2015). Effect of internal marketing on knowledge sharing and organisational effectiveness in the hotel industry. *TOTAL QUALITY MANAGEMENT & BUSINESS EXCELLENCE*, 26(1–2, SI), 76–92. <https://doi.org/10.1080/14783363.2012.661131>

Herramientas digitales empleadas para la educación del razonamiento clínico en estudiantes de fisioterapia: revisión de literatura

Digital Tools Used for the Education of Clinical Reasoning in Physiotherapy Students: a Review of the Literature

Elizabeth Abad Suárez¹, Meryene Cecilia Barrios Barreto²

Resumen

Se analizó si el uso de las herramientas digitales favorece la obtención de habilidades clínicas y toma de decisiones en estudiantes de Fisioterapia, así como, sus aportes y las herramientas más usadas en la enseñanza del razonamiento clínico en Fisioterapia. Esta se realizó a través de la búsqueda bibliográfica en las bases de datos de PubMed, ScienceDirect, ProQuest y Google Scholar, utilizando los siguientes términos claves: “clinical reasoning”, “decision making”, “physiotherapy”, “digital tools”, “digital technologies” y “e-learning”. Se recolectaron artículos en idioma inglés entre los años 2018-2023, con diseño metodológico cuantitativo, cualitativo o mixtos. Se identificaron un total de 3,289 artículos, de los cuales 41 fueron seleccionados para elegibilidad y finalmente quedaron 10 artículos que cumplieron con los criterios de inclusión, para ser sometidos al análisis y lectura crítica. Los resultados indicaron que antes y durante de la pandemia por Covid-19, los docentes incluían las herramientas digitales como estrategia didáctica en los procesos de enseñanza del razonamiento clínico, como los escenarios virtuales interactivos, las aplicaciones móviles y web, así como, los casos clínicos virtuales; puesto que, propician la adquisición de habilidades clínicas y la toma de decisiones, generando un aprendizaje significativo en los estudiantes; concluyendo que, tanto en el ámbito nacional e internacional, educar en la resolución de problemas clínicos es de suma relevancia, puesto que disminuye los costos en salud y favorece la corresponsabilidad clínica, la atención temprana de la enfermedad y aporta a la solución de las enfermedades de interés de salud pública.

1 Fisioterapeuta titulada de la Corporación Universitaria Antonio José de Sucre. Correo: elizabethabadsuarez@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7211-8732>

2 Doctora en Ciencias de la Educación, Magíster en Educación, Fisioterapeuta, Docente investigadora de la Corporación Universitaria Antonio José de Sucre. Correo: docente_investigador1@uajs.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8259-6730>

Palabras claves: educación superior, diagnóstico fisioterapéutico, toma de decisiones, tecnologías de la información y la comunicación, profesionales de la salud

Abstract

The review analyzed whether the use of digital tools favors obtaining clinical skills and decision-making in Physiotherapy students, as well as their contributions and the most used tools in teaching clinical reasoning in Physiotherapy. This was carried out through the bibliographic search in the PubMed, ScienceDirect, ProQuest and Google Scholar databases, using the following key terms: “clinical reasoning”, “decision making”, “physiotherapy”, “digital tools”, “digital technologies” and “e-learning”. Articles in English were collected between the years 2018-2023, with a quantitative, qualitative or mixed methodological design. A total of 3,289 articles were identified, of which 41 were selected for eligibility and finally 10 articles that met the inclusion criteria remained, to be submitted to analysis and critical reading. The results indicated that before and during the Covid-19 pandemic, teachers included digital tools as a didactic strategy in clinical reasoning teaching processes, such as interactive virtual scenarios, mobile and web applications, as well as virtual clinical cases, since they promote the acquisition of clinical skills and decision-making, generating significant learning in students; concluding that, both nationally and internationally, educating in the resolution of clinical problems is of the utmost importance, since it reduces health costs and favors clinical co-responsibility, early care of the disease and contributes to the solution of diseases. of public health interest.

Keywords: Higher education, physiotherapeutic diagnosis, decision making, information and communication technologies, health professionals

Introducción

El razonamiento clínico desempeña un papel importante en el desarrollo de la práctica clínica fisioterapéutica, permitiendo recuperar la salud y el bienestar de los pacientes; por consiguiente, Huhn *et al.* (2019) define el razonamiento clínico como la integración del pensamiento y la toma de decisiones involucradas en la resolución de escenarios clínicos. Asimismo, se considera como la toma de decisiones diagnósticas que se originan al interactuar con los pacientes (Wilford y Morretta, 2022). Por tanto, desde la formación de pregrado se debe garantizar la enseñanza y adquisición de esta competencia clínica, creando un lenguaje común entre los profesionales.

Es de subrayar que la toma de decisiones ha cobrado mayor importancia en los últimos años debido a los cambios de modelos en salud y las reformas en los sistemas

sanitarios del mundo, hacia el fortalecimiento de la Atención Primaria en Salud. Por ello, la OMS (2021) indica que es esencial que los sistemas de salud sean más resistentes en situaciones de crisis, más proactivos en la detección temprana de signos de enfermedades, así como actuar rápidamente para responder a una mayor demanda de servicios. En consecuencia, el profesional de la Fisioterapia, enmarcado en este modelo de atención, es considerado de primer contacto, por lo cual, debe tener la capacidad de actuar rápidamente en entornos clínicos inciertos, poseer habilidades interpersonales y de comunicación (Bassett & Jackson, 2022).

Tomando como referencia lo anterior, los establecimientos de educación superior están llamados a la creación e implementación de estrategias educativas que faciliten la adquisición de las competencias cognitivas y procedimentales, por lo que se han propiciado escenarios clínicos simulados como la presentación de casos clínicos y ejercicios de resolución de problemas, con la finalidad de entrenar a los estudiantes hacia las futuras situaciones clínicas reales, proporcionándole al futuro profesional experiencia, confianza en sí mismo y habilidades de razonamiento (Misganaw *et al.*, 2022).

Por consiguiente, para lograr una mayor integración de esta habilidad se necesita que el estudiante tenga cada vez un rol más activo en la construcción de su propio conocimiento, propiciando la transferencia de habilidades en los diferentes entornos clínicos (Gummesson *et al.*, 2018), por lo cual, una de las estrategias que se ha incorporado en los procesos de enseñanza-aprendizaje es el uso de las tecnologías de la información y la comunicación, con el fin de aportar soluciones a la demanda de una formación participativa del estudiante, brindando espacios y herramientas que potencian la motivación y el compromiso durante todo el proceso de aprendizaje.

De las tecnologías aplicadas a la educación se desprenden las herramientas digitales, las cuales facilitan la creación, organización y publicación de contenidos educativos de forma colaborativa (Morán *et al.*, 2021); además, permite a los profesores mantener una comunicación constante con los estudiantes (Brady & O'Reilly, 2020). Por otra parte, algunas ventajas de incluir las herramientas digitales en la educación en Fisioterapia son: la potenciación de las habilidades de aprendizaje, la capacidad de expresar ideas y el aumento de la creatividad. Asimismo, estas herramientas son importantes en las distintas etapas del proceso de enseñanza-aprendizaje, como en la preparación, el desarrollo de las actividades y la evaluación a los estudiantes (Unge *et al.*, 2018).

Considerando que las recientes investigaciones sobre la enseñanza del razonamiento clínico han mostrado la necesidad de investigar con mayor detenimiento cuáles son las estrategias y herramientas que lo favorecen en Fisioterapia, resulta relevante investigar sobre la contribución de las herramientas digitales en la potenciación de las habilidades procedimentales y de toma de decisiones clínicas. Razón por la cual, el propósito de este

artículo es realizar una revisión descriptiva de la literatura que permita identificar las herramientas digitales, así como sus aportes en la enseñanza del razonamiento clínico en estudiantes de Fisioterapia.

Metodología

La presente investigación sigue la estructura de una revisión de la literatura, la cual resulta útil para recopilar y sintetizar los hallazgos de investigaciones anteriores, así como crear una base sólida para avanzar en el conocimiento y facilitar el desarrollo del tema de investigación (Snyder, 2019). Las preguntas de investigación que orientaron la búsqueda bibliográfica fueron: ¿Cuáles son las herramientas digitales empleadas en la enseñanza del razonamiento clínico en Fisioterapia? ¿Cuáles son los aportes de las herramientas digitales en la enseñanza del razonamiento clínico en Fisioterapia?

Estrategia de búsqueda

Para la realización de la búsqueda, se emplearon múltiples bases de datos para encontrar el mayor número de estudios relevantes y se emplearon las palabras claves y sinónimos de “clinical reasoning”, “clinical judgment” “decision making” “diagnostic decisions”, “physiotherapy”, “physical therapy”, “digital tools”, “digital technologies” y “e-learning”. Las bases de datos consultadas comprendieron, PubMed, ScienceDirect y ProQuest; también se consultó en el motor de búsqueda de Google Scholar. Se aplicaron los filtros de año 2018-2023, tipo de documento (artículo de investigación original), área temática (profesiones de la salud y educación) y tipo de acceso (acceso abierto), en las bases de datos que lo permitían. Los criterios de inclusión fueron: estudios cualitativos o cuantitativos que aborden el uso de herramientas digitales en Fisioterapia. Además, artículos que estuvieran en idioma inglés. Los criterios de exclusión fueron: estudios cuya población incluyeran estudiantes de otras profesiones de la salud.

La búsqueda se dividió en tres etapas: en primer lugar, se emplearon cadenas de búsqueda con todos los términos anteriormente descritos, sin embargo, en algunas bases de datos, al incluir todas las palabras, se limitaban los resultados. Por lo tanto, con la intención de ampliar los resultados, se hicieron combinaciones con dos o máximo tres términos de búsqueda. En la segunda etapa, se identificaron los artículos más relevantes, para hacer una búsqueda de documentos relacionados, así como la revisión de las referencias bibliográficas de dichos artículos, para buscar documentos similares. En la tercera etapa, se consultaron artículos en el motor de búsqueda de Google Scholar, con el fin de localizar otros documentos relacionados con el objetivo de la revisión, que no se hayan identificado previamente en las bases de datos.

Selección de los artículos

Para la selección de los artículos, se realizó la lectura de los títulos para identificar los documentos potenciales. Luego, se procedió a leer el *abstract* de estos documentos y, así, seleccionar los artículos que se someterían a una lectura crítica, por medio de la guía CASPe (Critical Appraisal Skills Programme español).

Resultados

Con la aplicación de la estrategia de búsqueda, se obtuvo un total de 3,289 registros: 290 encontrados en Pubmed, 266 en ScienceDirect, 2665 en ProQuest y 68 en Google Scholar, tal como se detalla en la siguiente tabla.

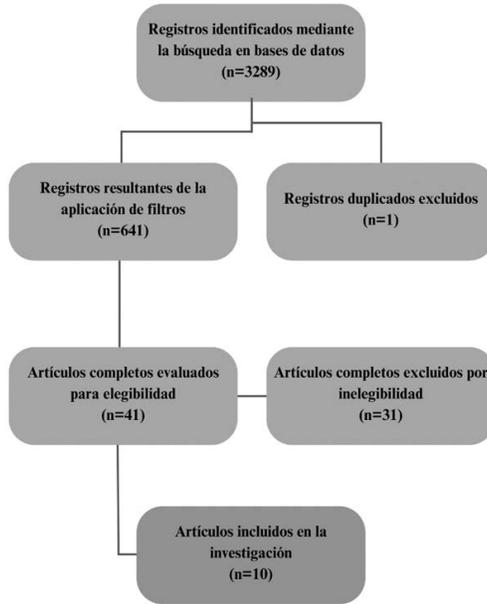
Tabla 1. Número de artículos encontrados por base de datos.

Base de datos	Términos de búsqueda	Registros encontrados
PubMed	clinical reasoning and physical therapy or digital tools or e-learning clinical reasoning and physical therapy or digital tools or e-learning	290
ScienceDirect	“clinical reasoning” and e-learning and “physical therapy”	266
ProQuest	clinical reasoning skills and digital tools and physical therapy	2665
Google Scholar	“clinical reasoning” and “digital tools” and “physical therapy”	68
Total		3289

Nota. Elaboración propia (2023).

Del total de registros identificados (n=3,289) se obtuvieron 641 documentos posteriores a la aplicación de filtros, excluyendo un artículo que estaba duplicado. Luego, se seleccionaron 41 artículos completos para elegibilidad, de los cuales 31 fueron excluidos por no enmarcarse en los criterios de inclusión definidos, quedando así un total de 10 artículos para ser sometidos al análisis y lectura crítica (Figura 1).

Figura 1. Diagrama de recolección bibliográfica.



Nota. Elaboración propia (2023).

Tras realizar el proceso de identificación y selección de los artículos finales para la revisión, se inició la lectura crítica y el análisis detallado de los mismos, para lo cual se elaboró una Tabla de sistematización del corpus teórico, identificando el año, autor, título del artículo, herramienta digital empleada, diseño metodológico y los resultados de la investigación (Tabla 2).

Tabla 2. Sistematización del corpus.

Autor y año	Título	Herramienta digital	Población estudiada	Diseño metodológico	Resultados
(Vinolo-Gil <i>et al.</i> , 2023)	Nivel de satisfacción y rendimiento de los estudiantes de Fisioterapia en el conocimiento de los trastornos músculo-esquelético a través de Nearpod: Informes preliminares	Aplicación web: Nearpod	Estudiantes de tercer año de Fisioterapia	Estudio de intervención, aleatorizado, con un grupo experimental y un grupo control	La aplicación Nearpod, permitió mejorar la motivación, participación, razonamiento y conocimientos en los estudiantes sobre los trastornos músculo-esquelético

Herramientas digitales empleadas para la educación del razonamiento clínico en estudiantes de fisioterapia: revisión de literatura

Autor y año	Título	Herramienta digital	Población estudiada	Diseño metodológico	Resultados
(Wojniusz <i>et al.</i> , 2022)	Pedagogías digitales activas como sustituto de las prácticas clínicas durante la pandemia de Covid-19: el caso de la enseñanza de la Fisioterapia	Seminarios web de casos clínicos	Estudiantes de Fisioterapia de tercer y último año	Análisis temático cualitativo de las tareas de ensayo de los estudiantes	La ubicación en línea pareció abordar adecuadamente los resultados del aprendizaje que requerían la integración del conocimiento teórico en un entorno clínico, la autorreflexión profesional y el razonamiento clínico
(Lisperguer <i>et al.</i> , 2021)	Formación en razonamiento clínico basado en el análisis de casos clínicos mediante un entorno virtual	Aula virtual. Recurso digital de resolución de casos	Estudiantes de primer año de Fisioterapia	Estudio experimental de sección transversal	La incorporación temprana de estrategias didácticas que fomenten el entrenamiento sistemático puede mejorar las habilidades de pensamiento crítico a través de la resolución de problemas clínicos y la discusión de retroalimentación
(Pastora-Bernal <i>et al.</i> , 2021)	Aplicación mobile-learning para mejorar las habilidades en el diseño del programa de ejercicio terapéutico: Percepción, satisfacción y demanda de los estudiantes de Fisioterapia	Aplicación Mobile-Learning-Physiotec	Estudiantes de Fisioterapia de segundo y tercer año	Estudio descriptivo	La herramienta de e-learning aporta mejoras en el aprendizaje de habilidades para el diseño de programas de ejercicios terapéutico en estudiantes de Fisioterapia con un alto grado de satisfacción

Autor y año	Título	Herramienta digital	Población estudiada	Diseño metodológico	Resultados
(Bartlett & Smith, 2020)	El efecto de una aplicación móvil cardiovascular y pulmonar en el aprendizaje de habilidades de evaluación por parte de los estudiantes: Un estudio piloto	Aplicación móvil cardio pulmonar	Estudiantes de Fisioterapia de primer año	Estudio aleatorizado, controlado, solo post-test, utilizando 3 grupos diferentes	Los estudiantes mejoraron sus habilidades clínicas de evaluación cuando se les proporcionaba la aplicación móvil combinada con una demostración tradicional
(Lozano <i>et al.</i> , 2020)	La aplicación móvil Ecofisis para la evaluación y el diagnóstico mediante imágenes ecográficas para estudiantes universitarios de ciencias de la salud	Aplicación móvil Ecofisis	Estudiantes de Fisioterapia de primer o segundo año	Ensayo controlado aleatorizado multicéntrico	El uso de la aplicación Ecofisis es eficaz para desarrollar competencias profesionales en la evaluación y diagnóstico de patologías deportivas en estudiantes de Fisioterapia
(Major <i>et al.</i> , 2020)	Preparación de los estudiantes de pregrado para el trabajo clínico en un entorno complejo: Evaluación de un módulo de e-learning sobre Fisioterapia en la unidad de cuidados intensivos	Módulo de aprendizaje electrónico basado en la evidencia	Estudiantes de Fisioterapia en rotaciones clínicas	Estudio de prueba de concepto con métodos mixtos	El módulo de aprendizaje electrónico no logró eliminar completamente la ansiedad de los estudiantes al manejar casos de pacientes complejos. Recomiendan una mayor integración con la práctica clínica, así como capítulos de módulos adicionales para facilitar el razonamiento clínico

Herramientas digitales empleadas para la educación del razonamiento clínico en estudiantes de fisioterapia: revisión de literatura

Autor y año	Título	Herramienta digital	Población estudiada	Diseño metodológico	Resultados
(Torres <i>et al.</i> , 2020)	Escenarios virtuales interactivos como recurso tecnológico para mejorar las habilidades de razonamiento clínico músculo-esquelético de estudiantes universitarios de Fisioterapia	Escenarios virtuales interactivos	Estudiantes de cuarto año de Fisioterapia	Estudio cuantitativo cuasi experimental	El entrenamiento semipresencial con escenarios virtuales permitió mejorar las habilidades de razonamiento clínico en los estudiantes
(Kiami & Donlan, 2019)	Utilidad y eficacia de los estudios de casos digitales neurológicos para promover las habilidades de toma de decisiones clínicas entre los estudiantes de Fisioterapia	Casos prácticos digitales creados con el software Articulate Quizmaker	Estudiantes de pregrado de un curso de Fisioterapia neurológica	Estudio piloto de dos fases, en la segunda realizaron un estudio de control aleatorizado	Los casos prácticos virtuales aumentaron el pensamiento crítico y la confianza en los estudiantes para tomar mejores decisiones clínicas
(Røe <i>et al.</i> , 2019)	Aprendizaje con tecnología en la enseñanza de la Fisioterapia: Diseño, implementación y evaluación de un enfoque de enseñanza flipped classroom	Aula invertida, video grabados, videos de YouTube, podcast y un curso de aprendizaje electrónico	Estudiantes de Fisioterapia de segundo año	Estudio de cohorte, prospectivo, históricamente controlado	La metodología del aula invertida resultó ser beneficiosa para los estudiantes, mejorando su desempeño y habilidades clínicas en un curso sobre trastornos músculo-esqueléticos

Nota. Elaboración propia (2023).

Las investigaciones de los últimos cinco años, han reflejado el gran interés que existe sobre el desarrollo del razonamiento clínico y las herramientas digitales, que son utilizadas en el aula en el proceso de enseñanza-aprendizaje, de las cuales unas han sido más utilizadas que otras, y entre las cuales están: las aulas de aprendizaje electrónico, las aplicaciones web y el uso de la tecnología móvil; además del uso de casos clínicos virtuales, resaltando que las herramientas investigadas tenían la finalidad de proporcionar conocimientos teóricos/prácticos de un área clínica de la Fisioterapia, potencializar las habilidades de valoración y diagnóstico, así como simular escenarios clínicos reales.

Por otra parte, las investigaciones emplearon metodologías variadas, tanto cuantitativas como cualitativas, así como diseños mixtos; y la población participante de los estudios fue diversa en cuanto al semestre en curso. Esto destaca, además, importancia de implementar esta temática en los diferentes años académicos (Sudacka *et al.*, 2021),

lo que les ha permitido a los investigadores realizar conclusiones teniendo en cuenta las vivencias y perspectivas de los estudiantes, los cuales destacan el nivel de satisfacción en la utilización de las herramientas digitales durante el desarrollo de sus clases y facilitación de los procesos de autoaprendizaje del razonamiento clínico (Torres *et al.*, 2020).

En la Tabla 3, se analizó la contribución a la temática por regiones y la colaboración entre las instituciones de educación superior, lo cual facilitó la caracterización y diagnóstico de sus estudiantes, determinando el nivel de razonamiento clínico que estos presentan, para así diseñar estrategias didácticas mediadas por tecnología que aporte a la adquisición de las competencias teóricas, metodológicas y procedimental del razonamiento clínico, destacando que los países europeos como España y Noruega lideran las investigaciones en torno a la enseñanza del razonamiento clínico en Fisioterapia, realizando colaboraciones entre las universidades nacionales para que los hallazgos fueran un reflejo de lo vivido en el ejercicio de la profesión, y a partir de ellos crear estrategias de fortalecimiento del razonamiento clínico entre los futuros profesionales de la Fisioterapia.

En Norteamérica, también se han llevado a cabo investigaciones en universidades de distintas regiones de EE. UU. estudiando la eficacia del uso de las aplicaciones web y móviles para el aprendizaje de las habilidades de evaluación y toma de decisiones clínicas en Fisioterapia (Bartlett & Smith, 2020). De igual manera, desde Latinoamérica, algunos países como Chile han contribuido a las investigaciones en torno a las herramientas digitales más idóneas y que pueden ser usadas por todas las profesiones del área de la salud.

Tabla 3. Contribución a la temática por regiones.

Autor/año	País	Idioma (original)	Institución	Base de datos
(Vinolo-Gil <i>et al.</i> , 2023)	España	Español	Universidad de Cádiz	Pubmed
(Wojniusz <i>et al.</i> , 2022)	Noruega	Noruego/Inglés	Universidad Metropolitana de Oslo- Oslo-Met	Pubmed
(Lisperguer Soto <i>et al.</i> , 2021)	Chile	Español	Universidad Santo Tomás de la ciudad de Viña del Mar	ScienceDirect

Autor/año	País	Idioma (original)	Institución	Base de datos
(Pastora-Bernal <i>et al.</i> , 2021)	España	Español	Universidad de Málaga, Universidad de Cádiz, Escuela Universitaria de Osuna, Universidad de Castilla La Mancha y Universidad Católica de Valencia	Google Scholar
(Bartlett & Smith, 2020)	Estados Unidos	Inglés	Universidad de artes liberales	ProQuest
(Lozano-Lozano <i>et al.</i> , 2020)	España	Español	Universidad de Granada	Pubmed
(Major <i>et al.</i> , 2020)	Países Bajos	Neerlandés	Escuela Europea de Fisioterapia y Universidad de Ciencias Aplicadas de Ámsterdam	Pubmed
(Torres <i>et al.</i> , 2020)	Chile	Español	Pontificia Universidad Católica de Chile	Pubmed
(Miami & Donlan, 2019)	Estados Unidos	Inglés	Universidad del Noroeste	ProQuest
(Røe <i>et al.</i> , 2019)	Noruega	Noruego/Inglés	Universidad Metropolitana de Oslo- Oslo-Met	Pubmed

Nota. Elaboración propia (2023).

Discusión

El razonamiento clínico se concibe como una competencia fundamental para todos los profesionales de la salud y en especial para los Fisioterapeutas. En este proceso se destacan las habilidades procedimentales de diagnóstico y toma de decisiones (Higgs *et al.*, 2019), dado que puede estimular la comprensión compartida de este fenómeno y preparar a los estudiantes para el afrontamiento de los escenarios clínicos reales (Abrandt *et al.*, 2022). Además, proporciona el aprendizaje de habilidades clínicas (LaRosa & Dinsmore, 2020).

En cuanto a su importancia, en los últimos años los sistemas de salud han sufrido cambios estructurales priorizando la atención primaria en salud y todos los profesionales

de las ciencias de la salud deberán realizar no solo actividades clínicas, sino también a resolver problemas comunitarios; según Elvén *et al.* (2022) ratifican esta concepción indicando que, los graduados de Fisioterapia con habilidades de razonamiento clínico pueden reducir los problemas relacionados con el estilo de vida, modificando adecuadamente estos hábitos en los pacientes, logrando las metas de la salud pública. De igual forma, impacta el ámbito clínico que requiere en gran medida ofrecer soluciones eficientes a los pacientes que acuden a un servicio de rehabilitación.

Para poder dar respuesta a los desafíos propuestos por las reformas a los servicios de salud, desde las aulas de educación superior, se ha buscado integrar innovaciones en el proceso de enseñanza-aprendizaje, por lo que ha incluido las herramientas digitales para la construcción de un aprendizaje real, útil y transferible, haciendo uso de los dispositivos electrónicos (Orellana *et al.*, 2022), teniendo en cuenta que los estudiantes universitarios corresponden a las generaciones *millennials* y Z, donde sus dinámicas de interacción social se han desarrollado utilizando las tecnologías y el internet. Por esta razón, la educación ha incorporado las nuevas tecnologías (Morán *et al.*, 2021), lo que ha exigido una reestructuración de los modelos educativos. En cuanto al aprendizaje, estas ofrecen interacción y motivación a los estudiantes, pero se debe tener pleno conocimiento de las ventajas y desventajas de cada herramienta digital, reconociendo el contexto educativo particular para esperar resultados óptimos (Unge *et al.*, 2018).

Por consiguiente, los artículos revelaron que los educadores han utilizado las herramientas digitales para potencializar la metodología presencial o diseñar espacios de aprendizaje completamente en línea. En la educación en Fisioterapia, algunas investigaciones como la de Torres *et al.* (2020) han declarado que la formación del razonamiento clínico, en combinación con los escenarios virtuales interactivos, permite a los estudiantes mejorar su conocimiento sobre cómo reconocer los patrones de presentación clínica y mitigar los errores al tomar decisiones. Sin embargo, Olivier *et al.* (2020) afirmaron que, la tecnología no debe emplearse de forma aislada y debe ajustarse a los resultados de aprendizaje propuestos, además de facilitar el contacto cara a cara entre los profesores y los estudiantes.

Tal es el caso de los enfoques de aula invertida, conocidos por ser un método de aprendizaje mixto en el que una fase de aprendizaje autodirigido (a menudo módulos de aprendizaje en línea) precede a la fase de instrucción en el aula (Ohtake *et al.*, 2018), con el propósito de involucrar a los estudiantes en el desarrollo de la autonomía hacia los procesos de autoaprendizaje, fomentando la interacción y retroalimentación con los compañeros de clases y los docentes (Røe *et al.*, 2019); lo cual, produce un ambiente enriquecido para desarrollar habilidades de pensamiento crítico y habilidades argumentativas a la hora

de participar en espacios de discusión sobre temáticas relacionadas con la resolución de casos clínicos.

Investigadores como Deprey (2018) demostraron que, el enfoque de aula invertida generó aumentos en los puntajes de los exámenes de los estudiantes en comparación con los enfoques de aula tradicional o parcialmente invertida. Asimismo, Major *et al.* (2020) establecieron que un módulo de aprendizaje electrónico basado en la evidencia sobre Fisioterapia en la UCI es una contribución factible y logra preparar a los estudiantes para sus rotaciones clínicas. Del mismo modo, Flores *et al.* (2022), encontró que el modelo del aula invertida facilitó la transición de un modelo de enseñanza universitaria presencial a uno virtual, en el marco de la pandemia por Covid-19. Sin embargo, Wassinger *et al.* (2022), investigando las opiniones y resultados de una cohorte de estudiantes de Fisioterapia, sobre el uso de aula invertida versus la metodología tradicional en un curso musculoesquelético, determinaron que si bien no hubo cambios significativos en los resultados de los exámenes entre las dos modalidades, si hubo una preferencia marcada hacia el uso del enfoque del aula invertida, debido a las características propias de interacción y apropiación del conocimiento.

Por tal razón, se puede mencionar que el uso de los escenarios virtuales interactivos son una puerta de entrada de las herramientas digitales en la educación en salud, especialmente en la formación del razonamiento clínico, dado que desarrolla la competencia para el manejo de plataformas virtuales brindando responsabilidad y libertad a los estudiantes para la adquisición de conocimientos, habilidades prácticas y al manejo de la información, propiciando espacios de participación y discusiones grupales sobre los temas tratados. No obstante, durante la implementación de estas metodologías se deben trazar objetivos bien definidos, para así lograr potencializar las metodologías tradicionales (Miami & Donlan, 2019).

También, se ha robustecido esta metodología con la inserción de las aplicaciones móviles y aplicaciones web; puesto que, la compra y venta de equipos móviles fueron impulsadas por la pandemia COVID-19 y se estima que hacia el año 2021 las ventas mundiales de smartphones ascendieron a 1.335 millones de unidades. Y se prevé que, para el 2024, se supere los 7.000 millones de suscripciones de teléfonos inteligentes (Statista, 2022), aumentando el uso de aplicaciones móviles para diferentes aspectos de la vida, siendo la educación una de las áreas que más se han beneficiado para fortalecer los procesos (Tejada & Barrutia, 2021).

En consecuencia, el uso de aplicaciones móviles para el entrenamiento de habilidades de detección de patologías, evaluación y diagnóstico en salud resulta ser eficaz. Y si se compara con el método de aprendizaje tradicional, se perciben más atractiva y útil desde el punto de vista de los estudiantes (Lozano *et al.*, 2020), por lo

que, en la enseñanza del razonamiento clínico, se han realizado aplicaciones de prueba para mejorar el aprendizaje y habilidades específicas del futuro fisioterapeuta, las cuales deben ser mejoradas con el paso del tiempo.

De la misma manera, Bartlett & Smith (2020) consideraron que, proporcionar una aplicación móvil por sí sola puede ser igual de eficaz a las instrucciones tradicionales. No obstante, para mayores beneficios es útil emplear la combinación de los métodos tradicionales junto a las aplicaciones móviles. Por lo tanto, las herramientas digitales no han llegado a reemplazar la metodología presencial, sino a potencializar y dinamizar la enseñanza ofreciendo nuevas experiencias de aprendizaje.

Tomando como referencia lo anterior, se han diseñado casos clínicos virtuales, que son simulaciones digitales interactivas de escenarios clínicos, con la finalidad de educar, evaluar y preparar a los estudiantes para el manejo de pacientes reales. Autores como Kononowicz *et al.* (2019) declararon que existe una baja a moderada evidencia de que los pacientes virtuales pueden mejorar las habilidades de manera más efectiva que la educación tradicional (Kiami & Donlan, 2019); dichos hallazgos difieren con los obtenidos por Yadav *et al.* (2023), encontrando que un escenario de caso virtual simulado puede resultar atractivo, interesante y cómodo de utilizar, pues protege la integridad de los pacientes de los posibles errores de los estudiantes.

Del mismo modo, Lisperguer *et al.* (2021) refieren que la resolución de casos clínicos virtuales proporciona un aprendizaje por el mecanismo de ensayo y error. Además, fomenta el uso del lenguaje técnico e incrementa la motivación, permitiendo un mejor desempeño en el razonamiento clínico, debido a que se da ganancias en conocimientos y habilidades clínicas (Gegenfurtner & Ebner, 2019), facilitando el diagnóstico diferencial a partir de la información obtenida del paciente y los hallazgos clínicos, coadyuvando espacios de discusión y reflexión (Edelbring *et al.*, 2018).

Por otra parte, los casos clínicos virtuales fomentan la comunicación y el trabajo interdisciplinar, por lo que Tran *et al.* (2020), desarrollaron un modelo de pacientes virtuales para hacer que los estudiantes reflexionaran activamente juntos antes de responder un cuestionario, evidenciando que este método facilitó las interacciones y discusiones entre los estudiantes sobre los roles de las diferentes profesiones, convirtiéndose en una alternativa adecuada para preparar a los estudiantes para el futuro trabajo en equipo en la práctica clínica. Asimismo, el proceso de diálogo entre los compañeros favorece el intercambio de opiniones sobre un paciente en común, proporcionándoles a los estudiantes comprender más su profesión (Björklund & Silén, 2021).

Llevar al aula estrategias didácticas innovadoras como una aplicación web u otras, da un mayor involucramiento y un papel más activo de los estudiantes en su proceso de formación, generando comentarios positivos sobre su experiencia de aprendizaje; además

de que les permite a los maestros evaluar los comentarios de los estudiantes, para así retroalimentar su quehacer y generar conclusiones que aportan a la reestructuración de sus métodos de enseñanza (Vinolo-Gil *et al.*, 2023).

La pedagogía digital es un método que aporta al desarrollo de habilidades de pensamiento superior empoderando a los estudiantes de su proceso de formación, pero el aprendizaje en línea es una alternativa que no puede reemplazar el componente práctico propio de las profesiones de la salud. Sin embargo, presentan algunas ventajas como la disponibilidad de participar de diferentes escenarios sin salir de su lugar de estudio (Wojniusz *et al.*, 2022), situación que fue vivida durante el periodo de la pandemia por Covid-19.

Finalmente, la revisión colocó en manifiesto que, las competencias que se desarrollan en las aulas de los programas de Fisioterapia de carácter teórico-práctico, como es el razonamiento clínico, han utilizado diferentes herramientas digitales con el objetivo de facilitar el aprendizaje y la adquisición del conocimiento. Aunque los docentes han diseñado e implementado estrategias didácticas mediadas por tecnologías, siguen siendo un reto para práctica pedagógica (Da Silva *et al.*, 2020), por lo que, se debe seguir explorando con nuevas herramientas y la realización de investigaciones de construcción colectiva entre estudiantes y docentes, permitiendo valorar y retroalimentar la adquisición de las competencias.

Conclusiones

Este estudio reveló que existe un uso extendido de las herramientas digitales para la formación del razonamiento clínico en estudiantes de Fisioterapia, con el objetivo de mediar los procesos educativos con las tecnologías de la información y la comunicación y, de esta forma, potencializar las metodologías tradicionales, generando espacios para la práctica de habilidades clínicas, diagnóstico y toma de decisiones, lo que aumenta la capacidad de tomar decisiones en salud.

Estos hallazgos sugieren que, la utilización de herramientas digitales resulta útil en los procesos de enseñanza del razonamiento clínico; sin embargo, se debe tener en cuenta los recursos a los que se tiene acceso, la formación de los docentes en el manejo de estas tecnologías, así como, también, el entrenamiento a los estudiantes sobre la implementación de estas herramientas en sus procesos de enseñanza-aprendizaje.

Referencias

- Abrandt, M., Valeskog, K., Johansson, K., & Edelbring, S. (2022). Understanding clinical reasoning: A phenomenographic study with entry-level physiotherapy students. *Physiotherapy Theory and Practice*, 38(13), 2817–2826. <https://doi.org/10.1080/09593985.2021.1976332>
- Bartlett, A. S., & Smith, N. (2020). The Effect of a Cardiovascular and Pulmonary Mobile Application on Student Learning of Assessment Skills: A Pilot Study. *Cardiopulmonary Physical Therapy Journal*, 31(2), 66–73. <https://doi.org/10.1097/cpt.0000000000000112>
- Bassett, A. M., & Jackson, J. (2022). The professional development and career journey into musculoskeletal first contact physiotherapy: a telephone interview study. *Physiotherapy Theory and Practice*, 38(10), 1453–1468. <https://doi.org/10.1080/09593985.2021.1872127>
- Björklund, K., & Silén, C. (2021). Occupational therapy and physiotherapy students' communicative and collaborative learning in an interprofessional virtual setting. *Scandinavian Journal of Occupational Therapy*, 28(4), 264–273. <https://doi.org/10.1080/11038128.2020.1761448>
- Brady, M., & O'Reilly, N. (2020). Learning management systems and their impact on academic work. *Technology, Pedagogy and Education*, 29(3), 251–268. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2020.1743746>
- Da Silva, P., Dos Santos, D., Da Rosa, L., Dias, C., & Mea, R. (2020). Virtual simulations in the teaching-learning process of physiotherapy: innovative proposal. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering*, 7(2), 53–60. <https://doi.org/10.15406/jabb.2020.07.00216>
- Deprey, S. M. (2018). Outcomes of Flipped Classroom Instruction in an Entry-Level Physical Therapy Course. *Journal of Physical Therapy Education*, 32(3), 289–294. <https://doi.org/10.1097/jte.0000000000000035>
- Edelbring, S., Parodis, I., & Lundberg, I. E. (2018). Increasing reasoning awareness: Video analysis of Students' two-party virtual patient interactions. *JMIR Medical Education*, 4(1). <https://doi.org/10.2196/mededu.9137>
- Elvén, M., Dean, E., & Söderlund, A. (2022). Augmented behavioral medicine competencies in physical therapy students' clinical reasoning with a targeted curriculum: a final-semester cohort-comparison study. *Physiotherapy Theory and Practice*, 38(12), 2007–2018. <https://doi.org/10.1080/09593985.2021.1895387>
- Flores, Ò., del Arco, I., Ramos, A., & Espart, A. (2022). Without fear of change: the flipped classroom as a flexible model in different learning environments. *Heliyon*, 8(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12160>
- Gegenfurtner, A., & Ebner, C. (2019). Webinars in higher education and professional training: A meta-analysis and systematic review of randomized controlled trials. *Educational Research Review*, 28(September). <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.100293>

- Gummesson, C., Sundén, A., & Fex, A. (2018). Clinical reasoning as a conceptual framework for interprofessional learning: a literature review and a case study. *Physical Therapy Reviews*, 23(1), 29–34. <https://doi.org/10.1080/10833196.2018.1450327>
- Higgs, J., Jensen, G. M., Loftus, & Christensen, N. (2019). Clinical reasoning in the health professions. En J. Higgs, G. M. Jensen, Loftus, & N. Christensen (Eds.), *Elsevier* (4a ed.). Elsevier. <https://jums.ac.ir/Dorsapax/userfiles/file/JoyHiggs.pdf>
- Huhn, K., Gilliland, S. J., Black, L. L., Wainwright, S. F., & Christensen, N. (2019). Clinical Reasoning in Physical Therapy: A Concept Analysis. *Physical Therapy*, 99(4), 440–456. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzy148>
- Kiami, S. R., & Donlan, P. (2019). Usability and efficacy of neurologic digital case studies to promote clinical decision-making skills among physical therapist students. *Journal of Allied Health*, 48(1), 31–37.
- Kononowicz, A. A., Woodham, L. A., Edelbring, S., Stathakarou, N., Davies, D., Saxena, N., Car, L. T., Carlstedt-Duke, J., Car, J., & Zary, N. (2019). Virtual patient simulations in health professions education: Systematic review and meta-analysis by the digital health education collaboration. *Journal of Medical Internet Research*, 21(7), 1–20. <https://doi.org/10.2196/14676>
- LaRosa, N., & Dinsmore, D. (2020). Student Physical Therapists' Perceptions of Clinical Reasoning: A Systematic Review of the Literature. *Health Professions Education*, 6(4), 481–489. <https://doi.org/10.1016/j.hpe.2020.06.002>
- Lisperguer, S., Calvo, M., Urrejola, G., & Pérez, M. (2021). Clinical Reasoning Training based on the analysis of clinical case using a virtual environment. *Educacion Medica*, 22(3), 139–143. <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2020.08.002>
- Lozano, M., Galiano, N., Fernández, C., Postigo, P., Álvarez, F., Arroyo, M., & Cantarero, I. (2020). The ECOFISIO mobile app for assessment and diagnosis using ultrasound imaging for undergraduate health science students: Multicenter randomized controlled trial. *Journal of Medical Internet Research*, 22(3), 1–10. <https://doi.org/10.2196/16258>
- Major, M. E., Ramaekers, S. P. J., Engelbert, R. H. H., & Van Der Schaaf, M. (2020). Preparing undergraduate students for clinical work in a complex environment: Evaluation of an e-learning module on physiotherapy in the intensive care unit. *BMC Medical Education*, 20(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12909-020-02035-2>
- Misganaw, E., Yigzaw, T., Tezera, R., Gelitew, A., & Gedamu, S. (2022). The Promise of the New Educational Strategy for Curriculum Development (SPICES) Model on the Development of Students' Clinical Reasoning Ability. A Comparative Cross-Sectional Study. *Advances in Medical Education and Practice*, 13, 71–79. <https://doi.org/10.2147/AMEPS344933>
- Morán, L., Camacho, G., & Parreño, J. (2021). Herramientas digitales y su impacto en el desarrollo del pensamiento divergente. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.*, 1(32), 1–19. <http://www.dilemascontemporaneoseduccionpoliticayvalores.com/>

- Ohtake, P. J., Lyons, A., Glogowski, M., Stellrecht, E., Aronoff, N., Grabowski, J., & Zafron, M. L. (2018). Using an interprofessional flipped classroom educational strategy for developing evidence-based practice knowledge and skills. *Journal of Interprofessional Education and Practice, 11*, 7–11. <https://doi.org/10.1016/j.xjep.2017.12.010>
- Olivier, B., Verdonck, M., & Caseleijn, D. (2020). Digital technologies in undergraduate and post-graduate education in occupational therapy and physiotherapy: A scoping review. *JBI Evidence Synthesis, 18*(5), 863–892. <https://doi.org/10.11124/JBISRIR-D-19-00210>
- OMS. (2021, abril 1). *Atención primaria de salud*. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/primary-health-care>
- Orellana, C., Aquije, E., Zubiaur, M., Castillo, J., & Cárdenas, F. (2022). Uso de las herramientas digitales en los centros públicos de educación secundaria. *Horizontes. Revista de Investigación en Ciencias de la Educación, 6*(23), 429–438. <https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v6i23.345>
- Pastora-Bernal, J.-M., Moreno-Morales, N., Estebanez-Pérez, M.-J., Molina-Torres, G., Fernandez-Navarro, R., & Martín-Valero, R. (2021). Mobile-Learning App to Improving Skills in the Design of Therapeutic Exercise Program : Perception , Satisfaction and Physiotherapy Student 's Demand. En *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-757592/v1>
- Røe, Y., Rowe, M., Ødegaard, N. B., Sylliaas, H., & Dahl-Michelsen, T. (2019). Learning with technology in physiotherapy education: Design, implementation and evaluation of a flipped classroom teaching approach. *BMC Medical Education, 19*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s12909-019-1728-2>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research, 104*(August), 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Statista. (2022, diciembre 8). *Usuarios de smartphones: suscripciones/contratos mundiales hasta 2027* | Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/636569/usuarios-de-telefonos-inteligentes-a-nivel-mundial/>
- Sudacka, M., Adler, M., Durning, S. J., Edelbring, S., Frankowska, A., Hartmann, D., Hege, I., Huwendiek, S., Sobočan, M., Thiessen, N., Wagner, F. L., & Kononowicz, A. A. (2021). Why is it so difficult to implement a longitudinal clinical reasoning curriculum? A multicenter interview study on the barriers perceived by European health professions educators. *BMC Medical Education, 21*(575). <https://doi.org/10.1186/s12909-021-02960-w>
- Tejada, J., & Barrutia, I. (2021). Tecnología móvil en el aprendizaje universitario. *Sophia, 17*(1), e1016. <https://doi.org/10.18634/sophiaj.17v.1i.1016>
- Torres, G., Villagrán, I., Fuentes, J., Araya, J. P., Jouannet, C., & Fuentes-, E. (2020). Interactive virtual scenarios as a technological resource to improve musculoskeletal clinical reasoning skills of undergraduate physiotherapy students. *Physiotherapy Theory and Practice, 38*(8), 1016–1026. <https://doi.org/10.1080/09593985.2020.1809043>

- Tran, C., Toth-Pal, E., Ekblad, S., Fors, U., & Salminen, H. (2020). A virtual patient model for students' interprofessional learning in primary healthcare. *PLoS ONE*, *15*(9 September 2020), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238797>
- Unge, J., Lundh, P., Gummesson, C., & Amnér, G. (2018). Learning spaces for health sciences—what is the role of e-learning in physiotherapy and occupational therapy education? A literature review. *Physical Therapy Reviews*, *23*(1), 50–60. <https://doi.org/10.1080/10833196.2018.1447423>
- Vinolo-Gil, M. J., García-Campanario, I., Lagares-Franco, C., Gonzalez-Medina, G., Rodríguez-Huguet, M., & Martín-Vega, F. J. (2023). Satisfaction Level and Performance of Physiotherapy Students in the Knowledge of Musculoskeletal Disorders through Nearpod: Preliminary Reports. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph20010099>
- Wassinger, C. A., Owens, B., Boynewicz, K., & Williams, D. A. (2022). Flipped classroom versus traditional teaching methods within musculoskeletal physical therapy: a case report. *Physiotherapy Theory and Practice*, *38*(13), 3169–3179. <https://doi.org/10.1080/09593985.2021.1941457>
- Wilford, K., & Morretta, M. (2022). Physical therapy student perception of self-reflection activities in a musculoskeletal course: A mixed-method study. *Physiotherapy Theory and Practice*, *00*(00), 1–8. <https://doi.org/10.1080/09593985.2022.2080620>
- Wojniusz, S., Thorkildsen, V. D., Heiszter, S. T., & Røe, Y. (2022). Active digital pedagogies as a substitute for clinical placement during the Covid-19 pandemic: the case of physiotherapy education. *BMC Medical Education*, *22*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12909-022-03916-4>
- Yadav, V., Shrivastava, T., Naqvi, W. M., & Bhurane, A. (2023). A Study to Design a Learning Tool “Virtual Patient” for Functional Diagnosis and Clinical Reasoning of Respiratory Dysfunction in the Undergraduate Physiotherapy Curriculum. *Cureus*, *15*(3). <https://doi.org/10.7759/cureus.35867>

Segunda revolución cuántica y el desarrollo de nuevas tecnologías

Second Quantum Revolution and the Development of New Technologies

María Camila Vásquez Monterroza¹, Orlando José García Mojica²,
Dairo Alfredo Causil Zúñiga³

Resumen

El presente artículo es una revisión bibliográfica o bibliométrica de la Mecánica Cuántica, su importancia y su evolución a través de los tiempos, convirtiéndose en una de las principales ramas de la ciencia con sus aplicaciones tecnológicas, así como los nuevos avances que ha traído este concepto y sus aplicaciones. Es por ello por lo que se enmarca el año 1900 como inicio de una nueva era, es decir, antes de esta fecha la Física era regida por la Mecánica Clásica, Electrodinámica Clásica y la Termodinámica; luego de ello, se iniciaron los estudios de las leyes de la Física aplicada a cuerpos de escala atómica y subatómicas. Se pretendió conocer a fondo las leyes naturales que dominan el mundo a esta escala, ciencia a la que se le llamó Mecánica Cuántica. Esto dio origen a la explicación de fenómenos efecto fotovoltaico, efecto túnel, nanoestructuras, el spin, entre otros, con lo cual fueron desarrolladas tecnologías como microscopio túnel, células fotovoltaicas, la ciencia de los semiconductores. Se inventó el diodo, el transistor, los microprocesadores y el láser. Con el desarrollo del transistor, evoluciona la electrónica de un sistema análogo a uno digital, nacen los computadores y las calculadoras. Actualmente, el hombre se está preparando para vivir una Segunda Revolución Cuántica, que buscará dar respuestas a interrogantes que aún no se han logrado descifrar por medio de la Mecánica Clásica, ya que el objetivo en esa época era estudiar las leyes que regían el mundo, mientras que en esta nueva era se busca manipular los sistemas atómicos independientes, lo que da origen a nuevas Tecnologías Cuánticas

1 Ingeniera Industrial egresada de la Corporación Universitaria del Caribe CECAR. Correo: maría.vasquezmo@cecar.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7498-2260>

2 Doctorado en Universidad Central. Mg. en Matemáticas de la Universidad de Oriente; Matemático de la Universidad de Oriente. Correo: Orlando.garciam@cecar.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7235-2847>

3 Magíster en Ciencias físicas de la Universidad de Sucre; Físico de la Universidad de Córdoba. Correo: dairo.causil@cecar.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6651-7913>

con paradigmas diferentes. Países como China, los de la Unión Europea y Estados Unidos, son pioneros en la búsqueda de información y en la puesta en marcha de los nuevos conocimientos, mientras que Colombia sigue en busca del nuevo conocimiento por medio de universidades o comunidades científicas que se dedican su estudio. Cabe resaltar que el propósito principal de este artículo es investigar las aplicaciones de la Mecánica Cuántica y los estudios que se han adelantado, debido a que los países que han avanzado en investigación y aplicaciones no publican todo el conocimiento, sino parte de este, es decir, la información es limitada.

Palabras clave: Mecánica Clásica, Mecánica Cuántica, entrelazamiento, superposición, nuevos conocimientos, países pioneros, revolución, Tecnologías Emergentes

Abstract

This article consists of a bibliographic or bibliometric review of Quantum Mechanics, its importance and its evolution through time, becoming one of the main branches of science with its technological applications, as well as the new advances that this has brought. concept and its applications, among others. It is for this reason that the year 1900 is framed as the beginning of a new era, that is, before this date, Physics was governed by Classical Mechanics, Classical Electrodynamics and Thermodynamics. After that, the studies of the laws of Physics applied to atomic and subatomic scale bodies began. It was intended to know in depth the natural laws that dominate the world on this scale, a science that was called Quantum Mechanics. This gave rise to the explanation of phenomena photovoltaic effect, tunnel effect, nanostructures, spin, among others, with which technologies such as tunnel microscope, photovoltaic cells, the science of semiconductors, etc. were developed. The diode, the transistor, microprocessors and the laser were invented. With the development of the transistor, electronics evolved from an analog system to a digital one, computers, calculators and others were born. Currently, man is preparing to live a Second Quantum Revolution, which will consist of giving answers to questions that have not yet been deciphered through Classical Mechanics, since the objective at that time was to study the laws that governed the world, while in this new era it seeks to manipulate independent atomic systems, which gives rise to new quantum technologies with different paradigms from the classical one. Countries like China, those of the European Union and the United States are pioneers in the search for information and in the implementation of new knowledge, while Colombia continues in search of new knowledge through universities or scientific communities that are dedicated to the study of it. It should be noted that the main purpose of this article is to investigate the applications of Quantum Mechanics and the studies that have been carried out, because the countries that have advanced in research and applications do not publish all the knowledge but only part of it, that is, information is limited.

Keywords: Classical Mechanics, Quantum Mechanics, entanglement, superposition, new knowledge, pioneering countries, revolution, Emerging Technologies

Introducción

La Teoría Cuántica nace a principios del siglo XX, como respuesta a fenómenos imposibles de explicar por medio de la mecánica clásica, tales como la distribución de líneas espectrales y la radiación del cuerpo negro fueron el impulso para que los científicos de la época realizaran experimentos y prácticas matemáticas, que ayudaran a resolver o dar una explicación lógica a este tipo de fenómenos. Por tanto, los físicos se dan a la tarea de realizar estudios y prácticas de laboratorio, con el fin de generar nuevo conocimiento y explicaciones a lo que no se podía descifrar (Cala & Eslava, 2011).

Ahora bien, iniciamos hablando de la Mecánica Clásica como formulación mecánica que estudia las leyes de las partículas físicas, macroscópica y a velocidad menor que la luz; en esa etapa se puede decir que la humanidad estaba guiada únicamente por los sentidos y se regía por elementos básicos de la mecánica, entre ellos, las teorías de Mecánica de Movimiento de Newton, que describe las leyes de Inercia, Dinámica y Acción y Reacción. La primera dice que si la suma de las fuerzas es diferente de cero (0) el objeto acelera; la segunda explica que la fuerza es proporcional al cambio; y la tercera expone que si un cuerpo aplica una fuerza a un segundo cuerpo, este segundo le aplica la misma fuerza al primero (Abramson, 2018).

Luego, entonces, se tiene la teoría Electromagnética Clásica descrita completamente por las ecuaciones de James Maxwell. Esta teoría une los efectos magnéticos y eléctricos, y describe fenómenos reales tales como la luz, las máquinas eléctricas, la fibra óptica, el motor, el transformador, entre otros. Maxwell describe dichos fenómenos por medio de sus ecuaciones, que relacionan los campos magnéticos y eléctricos y sus fuentes materiales. Todo esto dio origen a una revolución final de las comunicaciones (Cordero, 2017).

También, se hace énfasis en la Termodinámica, que surge como producto de la Revolución Industrial y se ocupa de la transformación de los cuerpos cuando hay transferencia de energía, es decir, transformaciones de energía en calor y trabajo de sistemas macroscópicos. Ejemplo, un cuerpo A en equilibrio con B y B en equilibrio con C, automáticamente C está en equilibrio con A (Romero, 2014).

Inicios de la Mecánica Cuántica

Entendiendo los conceptos anteriores, damos inicio a la era de la Mecánica Cuántica, la existencia de ondas o partículas subatómicas, el cambio de lo clásico a lo cuántico, donde no se cambian las cosas, solo se trabaja en verlas de forma diferente, con otros paradigmas, igual tecnologías mejores sistemas; un ejemplo de ellos es el paso de la antorcha a la bombilla, del coche de caballos a vehículos, entre otros.

Por su parte, la Mecánica Cuántica, como se expuso al inicio del escrito, surge como la explicación a eventos o fenómenos atómicos que no se pueden explicar por las teorías clásicas; esta nace con la explicación de la Radiación del Cuerpo Negro, el Principio de Incertidumbre y el Efecto Fotoeléctrico (Álvarez, 2016).

Ahora bien, los descubrimientos de Max Planck (ganador del Premio Nobel de Física en 1918 debido al descubrimiento de la Teoría Cuántica), Albert Einstein, Erwin Schrödinger, sus descubrimientos y análisis dieron lugar a las explicaciones matemáticas que se desarrollaban a inicio del siglo XX. Fue precisamente Planck quien con sus teorías dio el nombre de Revolución Cuántica, cuando dijo que la energía no se liberaba de forma cuántica sino por paquetes energéticos o “cuánticos”, siendo esta una nueva constante de frecuencia por radiación, teoría complementada por Einstein por medio del Efecto Fotoeléctrico. Luego, el paradigma se volvió desconcertante ya que inicialmente se conocía la luz como onda, hasta que Einstein dedujo que también se comportaba como partícula. Esto fue el inicio de la Primera Revolución Cuántica, de donde surgió el láser, el transistor o los microprocesadores; asimismo, relucen dos fenómenos importantes el entrelazamiento y la superposición. Sin embargo, aún había mucha más información cuántica por descifrar (Castro, 2019).

Resulta importante hablar del Efecto Compton, creado por Arthur Holly Compton. Este efecto se da cuando un fotón choca con un electrón y ambos toman diferentes direcciones, perdiendo en el choque parte de su energía, es decir, que la energía perdida por un fotón es igual a la que gana el electrón y la cantidad de movimiento del fotón original es igual a la cantidad del movimiento del electrón más la cantidad del movimiento del nuevo fotón (Gómez *et al.*, 2000). Por otra parte, se tiene la hipótesis De Broglie sobre las ondas de materia. Esta explica que los electrones y demás partículas pueden comportarse como onda, de donde surge el concepto que todo lo que existe es, al mismo tiempo, onda y materia (hiru.eus, 2018).

Seguido a ello, Schrödinger desarrolla la ecuación de ondas de materia que se ajusta a los postulados de Broglie, y que explica el comportamiento de los electrones dentro de los átomos, y que se explican tratándose matemáticamente como ondas de materia.

Ahora bien, resulta importante revisar bibliografías que se han desarrollado en torno al tema de Mecánica Cuántica, con el fin de explicar de qué trata esta temática.

Autor	Resumen investigación
(Angulo-Brunet, 2017)	La naturaleza cuántica se observa en las cosas cotidianas; encontramos que un teléfono móvil no podría existir sin la ciudad cuántica; una de las afirmaciones del escritor sería quien posea un ordenador cuántico podrá descifrar todas las transacciones secretas que se realizan por internet, y las que se realizaron en el pasado y han sido almacenadas a la espera de un progreso disruptivo en el descifrado de la criptografía actual.
(Molina, 2017)	La Física cuántica describe las leyes de lo muy pequeño como partículas elementales, átomos, moléculas y también conjunto de átomos; vivimos en la era de la información gracias a la primera Generación Cuántica, nuestros conocimientos de Física cuántica están en la base de la revolución tecnológica que ha llevado a esta nueva era, la primera revolución dio inicio al transistor, el láser, tomografía por resonancia magnética, células fotovoltaicas (energía solar), Microscopía avanzada (electrónica, efecto túnel, ...), entre otros.
(Agüero, 1998)	La tecnología de la computación ha evolucionado rápidamente a consecuencia de los descubrimientos secuenciales hechos por los humanos ávidos de conocimientos: desde los engranajes hasta los circuitos integrados complejos.
(Allende, 2019a)	Se explica la tecnología cuántica, sus inicios, las diferencias con las tecnologías clásicas, su impacto en la sociedad, como han evolucionado los campos de la tecnología, la cibernética, inteligencia artificial y demás; así como este mundo ayuda a almacenar de manera segura la información.
(Tobar <i>et al.</i> , 2021)	La ingeniería cuántica hace referencia al desarrollo de la tecnología basada en la Física cuántica, es decir, en las leyes físicas que describen el mundo a escala microscópica. El marco matemático proporcionado por la teoría de la información cuántica, junto con los avances experimentales en la preparación y manipulación de sistemas de tamaños muy pequeños, ha abierto el camino hacia la llamada segunda Revolución Cuántica, que anuncia cambios radicales en la tecnología.

Autor	Resumen investigación
(Vega, 2021)	La Teoría Cuántica ha sido asombrosamente exitosa por aproximadamente un siglo en la explicación de fenómenos a escalas atómicas. Más aún, ha permitido abrir nuevos caminos en el desarrollo de tecnologías; láseres, dispositivos semiconductores, paneles solares, y resonancia magnética, por mencionar algunos ejemplos. La aplicación directa de las leyes cuánticas al procesamiento de la información promete revolucionar también el sector de la tecnología de la información y la comunicación, lo que algunos autores han denominado la era de las “Tecnologías Cuánticas 2.0”.
(Gómez <i>et al.</i> , 2022)	La Mecánica Cuántica es la primera teoría que permite a las personas comprender el mundo microscópico de la materia (es decir, los átomos); a diferencia de la mecánica clásica, no asigna valores precisos a los valores observables del sistema, sino que solo asigna probabilidades a cada valor posible. La Mecánica Cuántica no sólo nos permite comprender los átomos, sino que también introduce un nuevo mundo de conceptos e ideas, muchos de los cuales son inverosímiles a primera vista.
(Lawler, 2022)	Inicialmente resulta incomprensible el concepto de entrelazamiento cuántico para los físicos de la época, el poder enviar información de una partícula a otra y que la segunda tuviera la información al instante fue algo nuevo, revolucionario y hasta aterrador; el saber que las dos partículas no tenían el mismo color, pero si eran idénticas porque surgen de un mismo fotón fue todo un récord explicarlo y hacerlo entendible para todos.

Es importante resaltar “la edad dorada de la Física”, término dado por algunos historiadores, la cual surge con la Revolución Cuántica (a lo que algunos historiadores la llaman la Primera Revolución Cuántica) en los años 1900, cuando el nuevo concepto cuántico estudia y explica el mundo microscópico, átomos, moléculas, fotones y electrones. Su estudio matemático y físico reveló que los fenómenos microscópicos tienen cabida en el mundo macroscópico; en esta primera revolución se estudió el transistor, el láser, la tomografía por resonancia magnética, las células fotovoltaicas (energía solar) y microscopía avanzada, como es el caso del efecto fotoeléctrico y el efecto túnel.

Efecto fotoeléctrico

Este efecto consiste en la emisión de electrones por un material, cuando incide sobre él radiación electromagnética (Rodríguez & Cervantes, 2016). Dicho efecto se encuentra ligado con el comportamiento de la materia como onda y partícula; es importante resaltar el trabajo de autores como Heinrich Hertz, quien realizó un experimento que se basaba en crear una chispa con una bobina de inducción y determinar los efectos de la radiación electromagnética, aunque esta no tuvo el éxito que el autor quería. Sin embargo, dio lugar a que el físico Wilhelm Hallwachs repitiera el experimento modificando, aunque sin teoría, y el autor clarificara el fenómeno (Celis *et al.*, 2020).

Ahora bien, resulta interesante saber que el efecto fotoeléctrico esté inmerso en aparatos tecnológicos que se usan en la vida cotidiana día a día, como cámaras, relojes, calculadoras, el cine, en detectores de movimientos, sensores digitales y hasta en los detectores de alcoholímetros (Celis *et al.*, 2020). Por tanto, podemos decir que la sociedad necesita de la Física para seguir en la búsqueda del conocimiento y en el descubrimiento de aparatos que ayuden al desarrollo de la vida misma, siendo este un gran emisor de energía.

Efecto túnel

El efecto túnel consiste en la descripción de cómo una partícula con una energía dada atraviesa una barrera potencial; esto es posible debido al carácter ondulatorio del electrón, lo que no tendría explicación en la Física Clásica (Mamedaliev, 2012). Se puede decir que la mayor parte de la electrónica tiene como base este efecto.

Por su parte, los inventores Gerd Binnig y Heinrich Rohrer en 1981 logra hacer visibles los átomos gracias al microscopio de efecto túnel, el cual, gracias a su resolución de profundidad, los átomos dentro de la materia son visibles y manipulados; con base en esta técnica, se han desarrollado la microscopía de escaneo de fotones, microscopía de efecto túnel de espín polarizado y la microscopía de fuerza atómica (Wikipedia, 2020).

Ahora bien, con la primera Revolución Cuántica se conocieron las leyes que describen las características de los semiconductores, nanoestructurados y el spin.

Por su parte, *los semiconductores* son materiales capaces de actuar como conductores de energía o aislantes eléctricos, dependiendo de condiciones como temperatura y presión, y las intensidades del campo eléctrico y magnético con el cual interactúa el material. Estos son usualmente utilizados en la electrónica, se emplean en láseres de diodos, sensores ópticos, amplificador de guitarras eléctricas, entre otros; además, existen semiconductores de tipo intrínseco y semiconductores extrínsecos, dependiendo del entorno físico donde se encuentran (Coluccio, 2021).

Encontramos, *las nanoestructuras*, que son estructuras con medidas muy pequeñas clasificadas de 1 a 100 nanómetros; en ellos encontramos el transistor, que modifica una señal de salida como respuesta a una señal de entrada; los microprocesadores, unidad principal de un ordenador; el láser, por su parte, que es un efecto de la Mecánica Cuántica que genera un rayo de luz gracias a la estimulación eléctrica; este último es importante para procedimientos en la medicina, escaneo de códigos, comunicaciones, entre otros.

Por último, tenemos el Spin: este término hace referencia a que toda partícula elemental tiene un momento intrínseco de valor fijo, indica los posibles giros de la partícula (Enciclopedia Colaborativa en la Red Cubana EcuRed, 2020), y un ejemplo de ello es cuando dos protones interactúan de manera directa entre sí, es decir están entrelazados y al modificar uno de ellos el otro inmediatamente se modificará; se comportan como imanes. Un fenómeno físico basado en esta propiedad es la aplicada en la Resonancia Magnética.

Ahora bien, abarcados ya los temas de la Revolución Cuántica, centramos nuestra visión a una nueva era, la Segunda Revolución Cuántica, sus principios, aplicaciones y el desarrollo de nuevas tecnologías, lo cual ha sido un reto y un propósito para algunos países que buscan tener la vanguardia en estos temas, con el fin de desarrollar nuevas comunicaciones imposibles de hackear.

Segunda revolución cuántica

En los últimos años está bien documentada lo que se conoce como la Segunda Revolución Cuántica. Los físicos buscan la manera de aplicar las leyes que ya existen, con el fin de manipular sistemas cuánticos individuales como átomos, moléculas, fotones y electrones, y el aprovechamiento de los fenómenos de entrelazamiento, superposición y el principio de incertidumbre.

Entrelazamiento y superposición cuántica

Ahora bien, descritos ya los primeros inicios de la Mecánica Cuántica resulta oportuno estudiar los fenómenos de entrelazamiento y superposición cuántica, conceptos que han sido muy importantes para dar explicaciones a fenómenos de la humanidad y que sin duda alguna serán el principio de la Segunda Revolución Cuántica.

Por su parte, el *Entrelazamiento Cuántico* describe cuando dos partículas cuánticas (moléculas, átomos, partículas subatómicas) están perfectamente correlacionadas, independiente de la distancia que haya entre ellas. Por ejemplo, un fotón atraviesa un cristal espacial da lugar a dos fotones; las dos partículas que surgen del resultado están entrelazadas, ya que surgen de un mismo fotón; si se mide un fotón el otro estará afectado (Lawler, 2022).

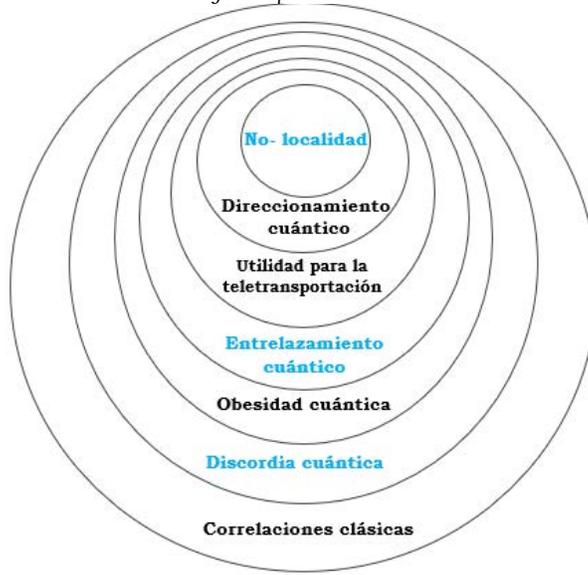
Por tanto, se conoce que el Entrelazamiento Cuántico es la base de las tecnologías que se utilizan en el desarrollo de la computación cuántica, la criptografía y se está trabajando en la Teleportación Cuántica gracias a este fenómeno (Pinargote *et al.*, 2020).

Dicho lo anterior, abordaremos el tema de *Superposición Cuántica*. Este término resulta de la medición de una magnitud cuántica; la situación para medir no se encuentra definida, por ende, se dice que el estado es suspendido o indefinido, por ejemplo, si se va a medir el estado de un electrón: al momento de medirlo el electrón puede no estar en ningún sitio o en todos los sitios a la vez, solo tendrá valor al ser medido. Mientras que en el mundo clásico se pueden conocer los estados antes de ser medio el electrón. Un ejemplo clave sería el estado de un semáforo; en el semáforo clásico se sabe sin mirarlo que el estará en alguno de los tres estados posibles (amarillo, verde o rojo), mientras que en si el semáforo estuviera en un sistema cuántico, este se encontraría simultáneamente en los tres estados; solo después de observarlo, el semáforo estará en uno de los tres estado (Enginyeriainformatica, 2016).

Por último, el principio de incertidumbre de Heisenberg, en términos de Física Cuántica, afirma que no se puede determinar las variables físicas como la posición y el momento lineal de un objeto (García, 2019).

Cuando se tiene dos sistemas cuánticos que interactúan, surgen fenómenos que llamaremos “correlaciones cuánticas” que, en un orden jerárquico, lo muestra la siguiente figura; estos fenómenos es lo que da origen a los recursos cuánticos que se utilizan para el desarrollo de nuevas tecnologías.

Ilustración 1. Jerarquía de recursos cuánticos.



Tecnologías cuánticas

Luego de conocer los principios de incertidumbre, superposición y entrelazamiento cuántico, seguimos hacia las Tecnologías Cuánticas, Estas aprovechan las propiedades del mundo microscópico, ejemplo de ello es que los átomos pueden estar en cualquier posición gracias al principio de superposición cuántica; existen tres tecnologías que son muy importantes en la actualidad y van enfocadas a la Medicina, la Biología y la Genética: estas son la *computación cuántica*, la *simulación cuántica* y la *óptica cuántica* (Allende, 2019b).

Ahora bien, con las Tecnologías Cuánticas se busca ser capaz de hacer tareas con sistemas cuánticos controlados para dar respuestas a problemas que impliquen una mayor complejidad y que no puedan ser resueltos por ordenadores clásicos (Sánchez, 2021). Asimismo, su objetivo, es aprovechar la función de onda *qubit* y de los conceptos ya mencionados de superposición y entrelazamiento; cabe resaltar que las Tecnologías Cuánticas son amplias y tiene ramas tales como teorías cuánticas de información, criptografía cuántica, óptica atómica, litografía cuántica, electrónica cuántica molecular, computadores cuánticos, láseres atómicos, fotónica cuántica, entre otros (Rodríguez, 2021).

Por otra parte, se sabe que las empresas trabajan en las tecnologías emergentes con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas por medio de aparatos capaces de realizar tareas complejas, por medio de *Blockchain*, que nace con la idea de tener un registro digital de audios, videos o texto en orden cronológico. La *Inteligencia Artificial* es la capacidad de las máquinas para acercarse hacer cosas iguales los seres humanos, como aprender, planificar y resolver problemas; asimismo, la *Impresión 3D* se basa en realizar objetos tridimensionales (Allende, 2019a).

Computación cuántica

En el año 1985 David Deutsch descubre el primer computador cuántico universal, el cual era capaz de simular cualquier computador cuántico. De ahí, surge el ideal de que cualquier computador cuántico puede hacer diferentes algoritmos cuánticos, pero es hasta 1997 que se realizan los primeros experimentos, los cuales han dado lugar a los avances que se tienen hoy día (Moret, 2013).

La computación cuántica es un paradigma distinto a la computación clásica; se basa en la aplicación de cubits, una combinación de unos y ceros; cabe mencionar, que los bits son la unidad básica de la computación clásica formada por ceros y unos, mientras que los cúbits son la combinación de ceros y unos al mismo tiempo gracias a la superposición cuántica, con lo cual se da espacio a nuevos algoritmos (Vanegas, 2016).

Por su parte, el físico David DiVincenzo, en el año 2020, publicó una serie de requisitos que según él debe cumplir un computador cuántico para poder lograr el objetivo que estos tienen. Primeramente, el sistema debe ser escalable con qubits bien caracterizados; también, debe permitir preparar un estado inicialmente genérico. En cuanto a tiempos de coherencia, estos deben ser largos con el fin que pueda realizar un mayor número de operaciones. Además, es ideal que se tenga un conjunto de puertas cuánticas que permitan hacer operaciones lógicas. Asimismo, que tengan una forma de medir qubits sin necesidad de extraer la información del computador; también tener un sistema para la conversión de qubits de almacenados a mensajeros y, por último, los qubits transmitidos sean creídos (Ibáñez, 2020).

Ahora bien, el primer experimento de comunicación cuántica se realizó en el año 1997, a una distancia de 23 kilómetros, siendo todo un éxito para la humanidad. Posteriormente, en el año 2011, la empresa D-Wave System vende a Lockheed Martin la primera computadora cuántica, por un valor de 10 millones de dólares (Moret, 2013).

Por su parte, cabe resaltar algunas aplicaciones de la computación cuántica, como es el caso de la Optimización de Rutas; mediante el algoritmo que se desarrolle se puede obtener la ruta más factible en el que se obtendrá una disminución en los tiempos. Asimismo, la Optimización en Procesos de Manufactura, por ejemplo, a la hora de armar

un motor mediante las computadoras se puede hacer un gráfico de acción sobre el que se montará todo el proceso; también se puede realizar la Secuencia y Comparación de Moléculas.

Ahora bien, hay empresas tecnológicas que han contribuido al desarrollo de la computación cuántica como lo es *IBM*; en 2019, fue la primera compañía en ofrecer servicios de Quantum Computing a nivel comercial: brindó una plataforma que le permite a los usuarios realizar experimentos para probar teorías por medio de la computadora de cinco qubits; además ofrece un software de código abierto para programar los computadores cuánticos. Por su parte, *Rigetti* ha tenido grandes novedades en hardware de computación cuántica y los usuarios pueden acceder a un chip de última generación, y ha estado explorando el permitir a sus clientes acceder a un tercer estado energético de hardware de superconducción (De Juana, 2022). Por su parte, *Microsoft* alude que ha estado trabajando en el desarrollo de una computadora cuántica; se apunta a un desarrollo integral, permitiendo cálculos más grandes. En uno de sus artículos habló de las cuasipartículas llamadas aniones abelianos de manera teórica y en 2015 avanza en la idea y publican una nueva idea de procesadores abelianos que se pueden aplicar en computadores cuánticos de todo tipo (Pastor, 2022). También, *Intel*, en 2015, firmó acuerdos de colaboración con QuTech que abarcan sistemas cuánticos, desde procesadores, hardware y software. Por último, se tiene a *Google*, quien presentó Bristlecone, un procesador cuántico de 72 qubits y esta empresa trabaja con la NASA en el desarrollo del ordenador cuántico D-Wave (Ibáñez, 2020).

Resulta importante el saber que las grandes empresas trabajen en el adelanto de computadores cuánticos con capacidades rigurosas para el desarrollo de cálculos grandes y potenciales. La empresa Rigetti Computing desarrolló una plataforma en la nube que facilita desarrollar algoritmos cuánticos (Ibáñez, 2020), lo cual permite a la humanidad adquirir nuevos logros por medio de los computadores cuánticos, avances en medicina, biología, ingeniería y demás carreras que avanzan gracias a investigaciones cuánticas.

Teleportación cuántica

La teleportación cuántica se define como la tecnología de poder transportar un estado cuántico a una localización cualquiera, por medio del entrelazamiento cuántico, término fundamental en este fenómeno; ahora bien, para teletransportar una partícula hay que destruirla en el proceso para conocer las partículas cuánticas que lo integran, por tanto, existen unos principios de teleportación cuántica, que son obtener todas las propiedades del objeto y enviar la información en forma clásica, a donde se desee hacer el objeto exactamente idéntico al primero (Pineda , 2012).

Ahora bien, investigadores de la Universidad Nacional de Australia lograron realizar la primera teleportación cuántica por medio de un haz de rayo láser pasándolo de una mesa a otra, el primer rayo de luz fue destruido para poder conocer sus partículas y así a un metro de este se crea la copia exacta de ese rayo láser (Bar, 2020).

Por otra parte, el austriaco Anton Zeilinger obtuvo un nuevo logro en la teleportación de los estados cuánticos, al teletransportar a una distancia de 143 kilómetros entre las islas de Tenerife y La Palma, lo que se hizo fue obtener la información del primer cubits y enviarlo por un medio clásico para teletransportarse; una vez se tuvo la información en el segundo cubits, ocurrió el fenómeno de teleportación, destruyéndose el primero y replicándose en el segundo y como lo explicaron algunos físicos (Villatoro, 2012).

También, se evidencia el entrelazamiento que se realizó desde China hacia una órbita sincrónica al sol: lo que se hizo fue enviar una información por medio de un satélite llamado Micius, que es un receptor de fotones capaz de detectar el estado cuántico de estas partículas disparadas desde el suelo; así, el equipo creó la primera red cuántica de satélite a tierra por medio de una distancia de 1.400 kilómetros, aunque el ruido es uno de los principales factores de interferencia para lograr los propósitos que se buscan (Ren *et al.*, 2017).

Asimismo, investigadores de la NASA realizan una teleportación cuántica a través de cables de qubits de fotones por medio de un cable de fibra óptica, a una distancia de 44 kilómetros, con una fidelidad de 90%; esta red fue posible con equipos listos para usar y que son compatibles con las bases de internet existentes (Lopez, 2021a).

Criptografía cuántica

La criptografía cuántica es una de las aplicaciones importantes en la computación cuántica que ayuda a enviar información de manera segura; su unidad principal de la formación es el quantum bit o qubit, que es el estado de ceros y uno; la potencia de la computación se basa en el paralelismo cuántico (tomar valores de 0, 1 y combinaciones de ambas) (García & García, 2005).

Ahora bien, la codificación normal no cuantifica y puede funcionar de diversas formas, pero se cifra un mensaje que solo se descifra mediante la clave secreta; gracias al principio de Heisenberg impide que un tercero descifre los fotones sin cambiarlos o destruirlos y si se intenta hackear la información esta será destruida.

Cabe mencionar el logro que se llevó a cabo entre la Universidad Tecnológica de Delft y el Organismo Neerlandés de Ciencias Aplicadas (TNO); esta unión logró una comunicación cuántica entre tres actores a los que llamo Alice, Bob y Charlie; los nodos de Alice y Bob se encontraban en dos laboratorios separados por varios metros entre sí y conectados por fibra óptica, mientras Bod está conectado paralelamente con Charlie,

por lo que Alice y Charlie no pueden hablarse; ahora bien, primeramente se entrelazan Alice y Bob, y la pareja de Bob y Charlie y a través del intercambio intrincado se logra entrelazar a Alice y Charlie, aunque estos últimos no estaban conectados físicamente se logró el intercambio de mensajes entre ellos, transmisión que se realizó de manera secreta como bien lo explica el entrelazamiento cuántico, y que explica que cualquier intento de espionaje puede destruir la comunicación (El Tiempo, 2022).

Actualmente, hay un gran avance en el crecimiento de Tecnologías Cuánticas en sectores donde la seguridad debe ser la prioridad y el hackear sea algo imposible (Areitio & Areitio, 2008), como en mensajes secretos, compras por medios de sistemas electrónicos, conversaciones por celulares, retiros de dineros, transferencias electrónicas, claves secretas, entre otras (Ortiz, 2007), haciendo de todos estos procedimientos sean secretos, ya que no pueden existir máquinas o dispositivos de clonación cuántica, es decir, no es posible hacer copias exactas de la información cuántica.

Países pioneros

Por su parte, Arthur Herman historiador que habla sobre Mecánica Cuántica expone que China va a la vanguardia en cuanto a temas cuánticos, ya que esta nación va construyendo redes cuánticas de manera secreta y aunque sus avances importantes no son conocidos por la humanidad, se rumora que traerán graves consecuencias estratégicas a nivel comercial y militar (Díaz, 2023). Asimismo, este país ha invertido muchos más recursos en el tema de Mecánica Cuántica, por encima de países como EE.UU. y la Unión Europea. En 2001 asume la construcción de un laboratorio físico para la formación cuántica; luego en 2004, el equipo de físicos fue el primero en el mundo en lograr entrelazar cinco fotones y una teleportación de destino abierto; en 2016, lanza el satélite llamado Micius al espacio, que fue un gran avance y dio paso, en 2017, para realizar la primera videollamada intercontinental cuántica encriptada. Se puede decir que 2016 fue un gran año para el desarrollo para la comunicación cuántica dentro de la industrial del país (Feng, 2017).

Seguido a ello, Estados Unidos trabaja en aumentar sus estudios y avances en Tecnologías Cuánticas; es por ello por lo que realiza una inversión de alrededor de 29.000 millones en computación cuántica desde 2022 a 2026 (Díaz, 2022). En los últimos años este país busca ser líder en computación cuántica como el procesador de 127 qubits que presentó IBM.

Por su parte, Australia es un país que se ha propuesto alcanzar a liderar la computación cuántica, por tanto, el gobierno ha decidido invertir un estimado de 2.500 millones de euros; seguido a ello, Alemania tiene el Instituto Max Planck de Óptica Cuántica dedicado a la Física y Tecnologías Cuánticas, y en los últimos años el gobierno

ha decidido hacer una inversión de 2000 millones de euros con el fin de crear nuevos ordenadores cuánticos (López, 2021).

Seguidamente, Francia ha destinado 1.000 millones de euros más de lo que invierten las empresas para tener un mayor alcance en temas cuánticos; por su parte, India invierte alrededor de 1.200 millones de euros y tiene como intención tener un ordenador de 50 qubits para el año 2025; en cuanto a Reino Unido, desde 2013 ha estado trabajando en el tema cuántico y el gobierno destina 1.200 millones de euros para tal fin; asimismo, Rusia, Canadá, Corea del Sur destinan recursos económicos para emplearlos a las nuevas tecnologías y ordenadores cuánticos (López, 2021).

En cuanto a América Latina y el Caribe, es importante mencionar que no se ha hecho ninguna inversión en temas exploración y desarrollo de Tecnologías Cuánticas; Brasil y México han desarrollado investigaciones y han publicado información en estos temas, sin embargo, no han desarrollado ningún ordenador cuántico. Entre los años 2013 y 2015, Brasil publicó 104 autores diferentes en temas cuánticos (Allende, 2019a).

Impacto por sectores

Resulta importante resaltar que el documento abarca la temática de Mecánica Cuántica, sus primeras investigaciones, personajes que han trabajado en ella y países que buscan ser pioneros en estos temas; asimismo, las nuevas tecnologías cambiarán la humanidad notablemente en los sectores y ramas tales como medicina, finanzas, economía, transporte y demás; al llegar la segunda Revolución Cuántica estos sectores contarán con herramientas que les ayudaran a desarrollar tareas propias de cada disciplina con mayor eficiencia.

Ahora bien, una de las aplicaciones más importantes de la Mecánica Cuántica ha sido en la *medicina, biología y genética*; el diseño de medicamentos implica la demora en procesos y procedimientos en laboratorios; al contar con una computadora cuántica que facilite el análisis y la simulación de los medicamentos, se supone que se ahorraría tiempos en los procesos, lo cual permitiría el avance y diseño de nuevos medicamentos. En cuanto a la manipulación molecular, se cree que sería de gran ayuda en la lucha contra el cáncer y tumores. Actualmente, esto se detecta por medio de rayos x y por medio de químicos y demás procedimientos que son nocivos para el paciente, por tanto, al llegar a manipular moléculas individuales por medio de la óptica cuántica, se podría interactuar con las células cancerígenas sin necesidad de perjudicar células que se encuentren sanas; también el interactuar con las moléculas ayudará en problemas de Alzheimer, Parkinson y Lou Gehrig; esto sería sin duda un gran avance para la humanidad, el poder salvar vidas y ayudar a tantas familias que padecen dicha enfermedad (Allende, 2019b).

En cuanto a *Economía y Finanzas*, gracias a las finanzas cuánticas se aumentaría la capacidad de análisis de datos y la predicción de forma cuadrática se resolvería en menor tiempo; asimismo, se cuenta con los simuladores cuánticos que hacen posible visualizar los problemas reales con gran número de variables que permiten determinar las pérdidas y ganancias que se tendrán en los negocios, es decir la predicción de crisis financieras (PICTET, 2021).

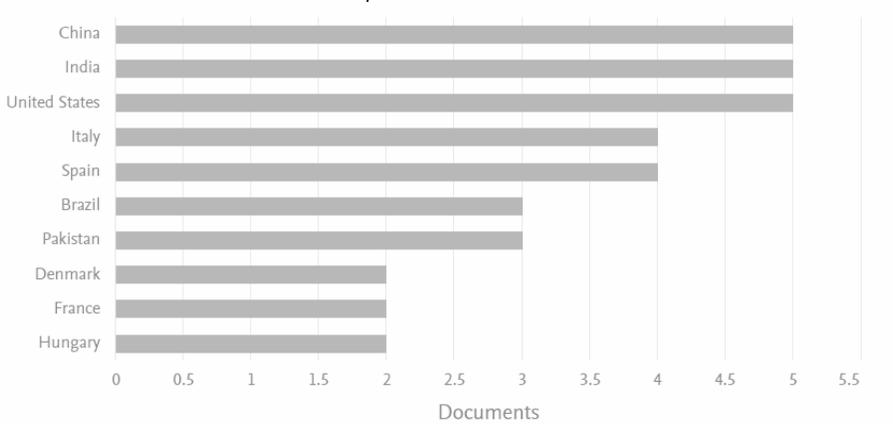
Asimismo, se tienen impactos en *energía, agricultura sostenible y medio ambiente*; el mayor impacto se tiene en la fabricación de amoníacos, sustancia que se usa para fabricar fertilizantes, que su producción consume el 2% de la energía mundial; por tanto, se requiere conocer los procedimientos a nivel molecular para ahorrar ese porcentaje y disminuir el impacto medioambiental negativo de esos procesos y disminuir costos de fabricación. También, el uso de los computadores cuánticos podría disminuir más de 7 gigatoneladas equivalentes de dióxido de carbono en la atmósfera, el estudio de los computadores cuánticos sería una “salvación” para el planeta ya que el objetivo es tener cero emisiones netas y disminuir la temperatura, por otra parte, la agricultura es una de las actividades que genera mayores emisiones de efecto invernadero; es por ello que se está trabajando en hacer una vacuna antimetano que produce anticuerpos contra el metanógeno (DPL NEWS, 2022).

En cuanto a *Educación y Trabajo*, actualmente las naciones están invirtiendo gran cantidad de recursos en estudiar el tema de Tecnologías Cuánticas en universidades y grupos dedicados a investigaciones y demás, ya que esta no podría ser entendida sin estudios previos de la Física.

Conclusiones

Lo largo del documento se ha tratado el tema de la Mecánica Cuántica, sus aplicaciones, primeros indicios, físicos que han dedicado su vida a generar nuevos conocimientos, computación cuántica y su importancia, fenómenos tales como entrelazamiento y superposición cuántica, los países pioneros en esta temática y demás; ahora bien, las Tecnologías Cuánticas nacen para dar soluciones a problemas de la humanidad en ámbitos como la medicina, biología, genética, agricultura, economía, finanzas, energía, agricultura sostenible y medio ambiente, en su afán de manipular o individualizar los sistemas cuánticos son pioneros los países China, India, Estados Unidos, entre otros como lo enumera la siguiente gráfica.

Ilustración 2. Países pioneros en documentación cuántica.



La anterior gráfica enumera los países pioneros en documentación cuántica. Luego de realizar una ecuación booleana e ingresarla en la base de Datos Scopus, encontramos 78 artículos sobre los países que trabajaban en Tecnologías Cuánticas. Luego, se realizó un límite de artículos de 2019 a 2022 y dio como resultado la ilustración 2.

Cabe resaltar, que el aporte de Latinoamérica a nivel gubernamental es cero, y a nivel individual hay mucha investigación en Colombia que se desarrolla mediante grupos de investigaciones de universidades como la Universidad desde el Centro de Investigación e Innovación en Bioinformática y Fotónica (Cibiofi), la Universidad de Córdoba, la Universidad de Sucre y CECAR, los cuales estudian la Mecánica Cuántica y sus aplicaciones.

Por último, las Tecnologías Cuánticas han sido un gran avance para la humanidad, término que aún se encuentra en construcción y que día a día se alimenta desde los países que buscan ser potencia mundial para el manejo de la información y las comunicaciones.

Referencias

- Abramson , G. (2018). *Mecánica Clásica*. Argentina: Instituto Balseiro. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ricabib.cab.cnea.gov.ar/696/1/mecanica_2.pdf
- Aguero, M. (2018). *Computación Cuántica; una nueva revolución de la Física*. Obtenido de file:///C:/Users/braya/Downloads/Dialnet-ComputacionCuantica-5128889.pdf
- Allende, M. (2019). *Tecnologías Cuánticas: Una oportunidad transversal e interdisciplinar para la transformación digital y el impacto social*. Obtenido de https://publications.iadb.org/es/tecnologias-cuanticas-una-oportunidad-transversal-e-interdisciplinar-para-la-transformacion-digital

- Allende, M. (14 de 10 de 2019). *BIG Mejorando Vidas*. Obtenido de Las Tecnologías Cuánticas, una nueva revolución en la medicina: <https://blogs.iadb.org/salud/es/tecnologias-cuanticas/>
- Allende, M. (2019). *BID*. Obtenido de <https://blogs.iadb.org/salud/es/tecnologias-cuanticas/>
- Álvarez, R. (2016). *Una Introducción a la Mecánica Cuántica*. Orthonet, Sevilla. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://euler.us.es/~opap/orthonet16/notas/orthonet-MC.pdf>
- Angulo-Brunet, A. (2017). *El futuro es cuántico*. Barcelona: Editorial Planeta. Obtenido de file:///C:/Users/braya/Downloads/21994-25928-1-PB.pdf
- Areitio, J., & Areitio, A. (2008). *La criptografía cuántica una tecnología clave para la seguridad de red*. Seguridad en Redes. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.redeweb.com/_txt/647/68.pdf
- Bar, N. (2020). *Por primera vez en la historia un átomo fue teletransportado*. La Nación. Obtenido de <https://www.lanacion.com.ar/ciencia/por-primera-vez-en-la-historia-un-atomo-fue-teletransportado-nid610975/#:~:text=Hace%20exactamente%2024%20meses%2C%20investigadores,a%20un%20metro%20de%20distancia.>
- Cala, F., & Eslava, É. (2011). *Mecánica Cuántica, sobre su interpretación, historia y filosofía*. (J. Melo, Ed.) Bogotá. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field_attached_file/pdf-_mecanica_cuantica-_pag_07-10-15.pdf
- Castro Torres, J. (2019). *La segunda revolución en la Mecánica Cuántica y su aplicación a las tecnologías de la defensa*. España: Instituto Español de Estudios Estratégicos. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_analisis/2019/DIEEEA25_2019JOSCAS_Cuantica.pdf
- Cervantes, J. (2016). *El efecto Fotoeléctrico*. Mexico. Obtenido de <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/7167>
- cheng Zhi, P., Jian Yu, W., & Jian Wei, P. (2017). *Ground-to-satellite quantum teleportation*. Nature. Obtenido de <https://www.nature.com/articles/nature23675#citeas>
- Coluccio, E. (15 de 07 de 2021). *concepto*. Obtenido de <https://concepto.de/semiconductores/>
- Cordero, P. (2017). *Electromagnetismo*. (F. d. Universidad De Chile, Ed.) Chile: Universitaria. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.cec.uchile.cl/cinetica/pcordero/todos/EM_E.pdf
- De Juana, R. (2022). *Seis compañías de computación cuántica a las que seguir la pista en 2022*. MCPRO. Obtenido de <https://www.muycomputerpro.com/2022/01/26/seis-companias-de-computacion-cuantica-a-las-que-seguir-la-pista-en-2022>
- Díaz, J. (25 de 04 de 2022). *El Confidencial*. Obtenido de EEUU advierte que China va por delante en computación cuántica: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novace-no/2022-04-25/china-eeuu-computacion-cuantica_3412816/

- Díaz, J. (20 de 01 de 2023). *El Confidencial*. Obtenido de Descubren cómo transportar energía instantáneamente sin usar cables ni ondas: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2023-01-20/energia-teleportacion-mecanica-cuantica_3560733/
- DPL NEWS. (23 de 08 de 2022). *Computación cuántica podría acelerar la descarbonización de la economía*. Obtenido de Dpl news : <https://dplnews.com/computacion-cuantica-podria-acelerar-la-descarbonizacion-de-la-economia/>
- EcuRed. (2020). *Espín*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Esp%C3%ADn#Esp.C3.ADn_en_la_actualidad
- El Tiempo. (25 de 05 de 2022). *Investigadores logran gran avance hacia el internet cuántico*. Obtenido de Investigadores logran gran avance hacia el internet cuántico: <https://www.eltiempo.com/vida/ciencia/investigadores-logran-gran-avance-hacia-el-internet-cuantico-675150>
- Engineriainformatica. (2016). *Breve introducción a la Mecánica Cuántica*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://engineriainformatica.cat/wp-content/uploads/2016/05/BREVE-INTRODUCCI%C3%93N-A-LA-MEC%C3%81NICA-CU%C3%81NTICA.pdf>
- Escobar, B., Jaramillo, J., Montoya, J., & Celis, J. (2020). *El Efecto Fotoeléctrico*. Antioquia. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/8007/Efecto%20Fotoel%C3%A9ctrico.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Feng, J. (7 de 08 de 2017). *China hoy*. Obtenido de China en la vanguardia de la información cuántica: http://spanish.chinatoday.com.cn/tec/news/content/2017-08/07/content_744595.htm
- Fernández, R. (2017). *Tecnologías cuánticas: promesas y realidades*. Instituto de Estructura de la Materia (CSIC). Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://core.ac.uk/download/pdf/145229067.pdf>
- García, A., & García, J. (2005). *Criptografía Cuántica*. Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.uv.es/mat.es2005/Cripto/mates2005/pdf/alfonsa.pdf>
- García, J. (31 de 01 de 2019). *Blog de Hiberus Tecnología*. Obtenido de <https://www.hiberus.com/crecemos-contigo/principio-de-incertidumbre-de-heisenberg/>
- Gómez, A., Huamán, L., Lauro, C., Quiróz, C., & Rodríguez, A. (2000). *Ciencia, Tecnología y Ambiente*. Ministerio de Educación. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.une.edu.pe/docentesune/jjhoncon/Descargas/Fasciculos%20CTA/Efecto%20Compton.pdf>
- hiru.eus. (2018). *euskadi.eus*. Obtenido de euskadi.eus: <https://www.hiru.eus/es/fisica/ondas-de-materia-de-louis-de-broglie>
- Ibáñez, J. (2020). *Computación Cuántica: estado de arte, desafíos y contribuciones empresariales*. Obtenido de <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/Econo>

- miaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/422/IBA%CC%81N%CC%83EZ%20DE%20ALDECOA%20QUINTANA.pdf
- Ibañez, J. (2020). *Computación Cuántica; Estado del arte, desafíos y contribuciones empresariales*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://www.min-cotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/422/IBA%CC%81N%CC%83EZ%20DE%20ALDECOA%20QUINTANA.pdf
- Lawler, D. (2022). “El Entrelazamiento Cuántico”, un fenómeno aterrador según Einstein. ProQuest. Obtenido de <https://www.proquest.com/docview/2720938970/A3C7BA9C5284A1FP-Q/1?accountid=34487>
- Lawler, D. (2022). *El “entrelazamiento cuántico”, un fenómeno “aterrador” según Einstein*. Washington: ProQuest. Obtenido de <https://www.proquest.com/docview/2720938970/836D-B5BC998E4F4EPQ/1?accountid=34487>
- León Cedeño, A. I., Gómez Herrera, J. C., Intriago Pinargote, J. E., Macias Zhizhingo, F. N., & Márquez Patiño, L. (2022). *Mecánica cuántica y su estudio en la ingeniería*. Universidad Técnica de Manabí. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://www.researchgate.net/profile/Fernanda-Macias/publication/361492503_Universidad_Tecnica_de_Manabi_Integrantes/links/62b497c6dc817901fc762064/Universidad-Tecnica-de-Manabi-Integrantes.pdf
- Lopez, J. (11 de 05 de 2021). *El Economista*. Obtenido de La NASA y su teletransportación cuántica de larga distancia: <https://www.economista.com.mx/opinion/La-NASA-y-su-teletransportacion-cuantica-de-larga-distancia-20210510-0106.html>
- López, J. (29 de 11 de 2021). *En la carrera por liderar en computación cuántica no pelean solo Estados Unidos y China: estos son los países que también la están disputando*. Obtenido de webedia: <https://www.xataka.com/ordenadores/carrera-liderar-computacion-cuantica-no-pelean-solo-estados-unidos-china-estos-paises-que-tambien-estan-disputando>
- Mamedaliev, E. (2012). *Microscopía de efecto túnel*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://addi.ehu.es/bitstream/10810/30530/3/TFG_Mamedaliev_Guseinova_Ernesto.pdf
- Matthew Tobar, M., Torrez, T., Ureta, A., Velez, M., & Velez, A. (2021). *Tecnología cuántica e ingeniería*. Ecuador: Asigantura de Dinámica. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://www.researchgate.net/profile/Matthew-Tobar/publication/353914096_TECNOLOGIA_CUANTICA_E_INGENIERIA_QUANTUM_TECHNOLOGY_AND_ENGINEERING_Resumen_1_Introduccion/links/611890750c-2bfa282a4641fb/TECNOLOG
- Moret, V. (2013). *Principios Fundamentales de Computación Cuántica*. Universidad de A Coruña. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://ingenieriainformatica.cat/wp-content/uploads/2016/05/PRINCIPIOS-FUNDAMENTALES-DE-COMPUTACION-CUANTICA.pdf

- Ortiz, H. (2007). *Fundamentos de Criptografía Cuántica*. Medellín: UNIVERSIDAD EAFIT. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/2367/OrtizRojas_Hernan_2007.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pastor, J. (15 de 03 de 2022). *xataka.com*. Obtenido de Microsoft quiere ganar la carrera de la computación cuántica. Y está revolucionando el concepto de cúbit para lograrlo: <https://www.xataka.com/investigacion/microsoft-quiere-ganar-carrera-computacion-cuantica-esta-revolucionando-concepto-cubit-para-lograrlo>
- PICTET. (12 de 04 de 2021). *Economía y Finanzas*. Obtenido de ¿Finanzas cuánticas para predecir aleatoriedad y volatilidad?: <https://am.pictet/es/blog/articulos/finanzas-y-mercados/finanzas-cuanticas-para-predecir-aleatoriedad-y-volatilidad>
- Pinargote, C., Prado, J., Palma, B., & Pincay, J. (2020). *MECÁNICA CUÁNTICA: ENTRELAZAMIENTO CUÁNTICO/ QUANTUM MECHANICS: QUANTUM ENTANGLEMENT*. ResearchGate. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/346654610_MECANICA_CUANTICA_ENTRELAZAMIENTO_CUANTICO_QUANTUM_MECHANICS_QUANTUM_ENTANGLEMENT
- Pineda, L. (2012). *Principios de Teleportación Cuántica*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://vixra.org/pdf/1205.0109v1.pdf>
- Rodríguez, J. (08 de 09 de 2021). *El Tiempo*. Obtenido de La segunda Revolución Cuántica, ¿cambiará nuestro mundo?: <https://www.eltiempo.com/vida/ciencia/que-es-la-segunda-revolucion-cuantica-616546>
- Romero Rochin, V. (2014). *Termodinámica*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.fisica.unam.mx/personales/romero/TERMO2014/TERMO-NOTAS-2014.pdf>
- Sánchez, R. (2021). *Mecánica cuántica aplicada a procesado y comunicaciones: implicaciones presentes y futuras*. Máster Universitario en Dirección TIC para la Defensa. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://calderon.cud.uvigo.es/bitstream/handle/123456789/583/S%20c3%a1nchez%20Jim%20a9nez%20Ricardo%20-%20Resumen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vanegas, A. (12 de 12 de 2016). *El camino hacia el ordenador cuántico: bits y cúbits*. Obtenido de El camino hacia el ordenador cuántico: bits y cúbits: <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/mundo-digital/el-camino-hacia-el-ordenador-cuantico-qubits-y-qudits/>
- Vega, H. (2021). *Estudio comparativo de dos correlaciones cuánticas tipo discordia en sistemas de qubits*. Montería: Universidad de Córdoba. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/4669/VEGABENITEZHERNANISRAEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villatoro, F. (2012). *Nuevo récord en el teletransporte cuántico obtenido entre La Palma y Tenerife en una distancia de 143 km*. La Ciencia de la Mula Francis. Obtenido de <https://fran->

cis.naukas.com/2012/09/12/nuevo-record-en-el-teletransporte-cuantico-obtenido-entre-la-palma-y-tenerife-en-una-distancia-de-143-km/

Wikipedia. (2020). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Microscopio_de_efecto_t%C3%BAnel#:~:text=El%20efecto%20t%C3%BAnel%20es%20un,evento%20conocido%20como%20efecto%20t%C3%BAnel.

Valorización de residuos orgánicos para producir biofertilizantes: revisión bibliométrica de tendencias y avances

Valorization of Organic Waste to Produce Biofertilizers: Bibliometric Review of Trends and Advances

Nathaly A. Torres Gallo¹, Daniel D. Otero Meza², Jairo Salcedo Mendoza³,
Jorge E. Hernández Ruydiaz⁴

Resumen

Este capítulo aborda la producción científica en biofertilizantes mediante un análisis bibliométrico. Se realizó una búsqueda en bases de datos científicas con palabras clave relacionadas, analizando las publicaciones según instituciones, financiadores, áreas temáticas y tipos de documentos. También se examinaron las coocurrencias entre palabras clave. Los resultados revelan un creciente interés en la investigación de biofertilizantes, con instituciones y financiadores líderes en Brasil, China e India, enfocados en sistemas alimentarios sostenibles, agricultura y reciclaje de residuos orgánicos. Las áreas de investigación más relevantes incluyen ciencias medioambientales y agrícolas, abordando temas como reciclaje de residuos orgánicos en agricultura, uso y manejo del suelo, agronomía, tecnología de biorrecursos y desarrollo de biofertilizantes. Los artículos de investigación son el tipo de documento más común, seguidos por revisiones bibliográficas y capítulos de libro. Se concluye que el desarrollo de biofertilizantes implica considerar aspectos ambientales, mejorar la producción de inoculantes para aumentar macronutrientes (NPK) en el compost, estudiar variables para control de calidad en producción, vida útil, reutilización de líquidos lixiviados como inoculantes y

1 Ingeniera Agroindustrial; Universidad de Sucre, correo: nathaly.torres@unisucra.edu.co, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7783-8186>

2 Dr.(c); Ingeniero Agroindustrial, Coinvestigador; Universidad de Sucre, correo: daniel.otero@unisucra.edu.co, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2889-7895>

3 Dr. Ingeniería, énfasis en Química, Esp. Ciencias ambientales, Ingeniero Químico; Universidad de Sucre, correo: jairo.salcedo@unisucra.edu.co, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9901-9793>

4 M.Sc Ciencias Agroalimentarias, énfasis en Ingeniería, Ingeniero Agroindustrial., Universidad de Sucre, correo: jorge.hernandez@unisucra.edu.co, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0530-4567>

desarrollar biofertilizantes autosustentables para un uso eficiente de recursos en la agricultura.

Palabras clave: biofertilizante, degradación, digestión aerobia, estiércol bovino, humedad, relación C/N, residuos agrícolas, residuos orgánicos.

Abstract

This chapter addresses the scientific production in biofertilizers through a bibliometric analysis. A search was carried out in scientific databases with related keywords, analyzing the publications according to institutions, funders, subject areas and types of documents. The co-occurrences between keywords were also examined. The results reveal a growing interest in biofertilizer research, with leading institutions and funders in Brazil, China, and India focused on sustainable food systems, agriculture, and organic waste recycling. The most relevant research areas include environmental and agricultural sciences, addressing topics such as recycling of organic waste in agriculture, land use and management, agronomy, bioresource technology and biofertilizer development. Research articles are the most common document type, followed by literature reviews and book chapters. It is concluded that the development of biofertilizers implies considering environmental aspects, improving the production of inoculants to increase macronutrients (NPK) in the compost, studying variables for quality control in production, useful life, reuse of leached liquids as inoculants, and developing self-sustaining biofertilizers for efficient use of resources in agriculture.

Keywords: biofertilizer, degradation, aerobic digestion, bovine manure, moisture, C/N ratio, agricultural residues, organic residues.

Introducción

El acelerado crecimiento de la población mundial en la actualidad se encuentra estrechamente vinculado con la industrialización, urbanización y producción agrícola (Raihan, 2023; Raihan & Tuspekova, 2022). Por esta razón, la agricultura tradicional se ha vuelto esencial para cubrir las necesidades nutricionales de la humanidad (Kah *et al.*, 2019). No obstante, los métodos de cultivo convencionales se fundamentan principalmente en el uso intensivo de fertilizantes sintéticos y plaguicidas, los cuales, además de tener un alto costo, generan un impacto negativo en el medio ambiente y la salud (Maçik *et al.*, 2020). En un mundo en constante crecimiento, satisfacer la demanda de productos agrícolas y mantener la productividad agrícola son desafíos urgentes. Por consiguiente, el empleo de biofertilizantes elaborados a partir de residuos sólidos agrícolas se ha consolidado como una alternativa sostenible y económicamente viable frente a los

fertilizantes químicos (Carrasco, 2020a), debido a sus numerosos efectos beneficiosos a largo plazo sobre las propiedades fisicoquímicas y biológicas de los suelos, mejorando la calidad comercial de las cosechas (Osorio-Reyes *et al.*, 2023; Rathnathilaka *et al.*, 2023).

El consumo global de biofertilizantes experimentó un incremento del 1.3% en 2018 en comparación con el año anterior, alcanzando la cifra de 187 millones de toneladas, de las cuales América Latina, Asia del Sur, África, Europa del Este y Asia Central consumieron el 80% (CVN, 2019). En Colombia, el desarrollo de este mercado ha tenido un crecimiento significativo, impulsado por centros de investigación y empresas privadas, en su mayoría con biofertilizantes fijadores de nitrógeno, hongos formadores de micorrizas y bacterias solubilizadoras de fosfato (Marcela *et al.*, 2018).

La producción científica mundial de biofertilizantes, mediante la valorización de residuos orgánicos, ha sido relevante en la última década. Entre las investigaciones más destacadas se encuentran las realizadas por Asses *et al.* (2019), quienes implementaron a gran escala el desarrollo de estos procesos como alternativa para el aprovechamiento de subproductos y residuos generados durante el sacrificio de aves. Asimismo, Asadu *et al.* (2020) llevaron a cabo un estudio en el cual se resalta la influencia de biofertilizantes generados a partir de la mezcla de aserrín y residuos agrícolas nitrogenados, utilizando actinomicetos como inóculos microbianos. Otro trabajo relevante es el de (Chakravarty & Mandavgane, 2021), quienes se enfocaron en el aprovechamiento eficiente de residuos de frutas y verduras, así como de los desechos generados en mataderos mediante codigestión en dos etapas: digestión anaerobia seguida de digestión aerobia con *Trichoderma reesei*. Por otro lado, Ajaweed *et al.* (2022), centraron su investigación en la evaluación de características fisicoquímicas de biofertilizantes con base en residuos orgánicos municipales, residuos agrícolas y estiércol de aves, siendo este último una excelente fuente de microorganismos que aportan efectos positivos al producto final, en cuanto a micro y macronutrientes contenidos.

Los residuos sólidos agrícolas y el estiércol de ganado representan fuentes valiosas de nutrientes y microorganismos que pueden ser empleados en la producción de biofertilizantes. Estos residuos pueden ser obtenidos localmente, lo que disminuye los costos de transporte y promueve la economía circular (Kapoor *et al.*, 2020). Además, al utilizar estos materiales, en lugar de desecharlos, se reduce el impacto ambiental negativo asociado con la disposición inadecuada de estos residuos, como la emisión de gases de efecto invernadero y la contaminación del suelo y agua (Lamma, 2021).

Para asegurar la producción eficiente de biofertilizantes, es crucial tener en cuenta una serie de parámetros técnicos. Entre ellos, destacan la calidad y composición de los residuos orgánicos, la concentración de nutrientes, el proceso de fermentación, la selección de microorganismos apropiados y la relación carbono/nitrógeno (C/N), la cual

es un parámetro clave en la producción de biofertilizantes, ya que afecta la actividad microbiana y, por ende, la eficiencia en la liberación de nutrientes (Ezemagu *et al.*, 2021).

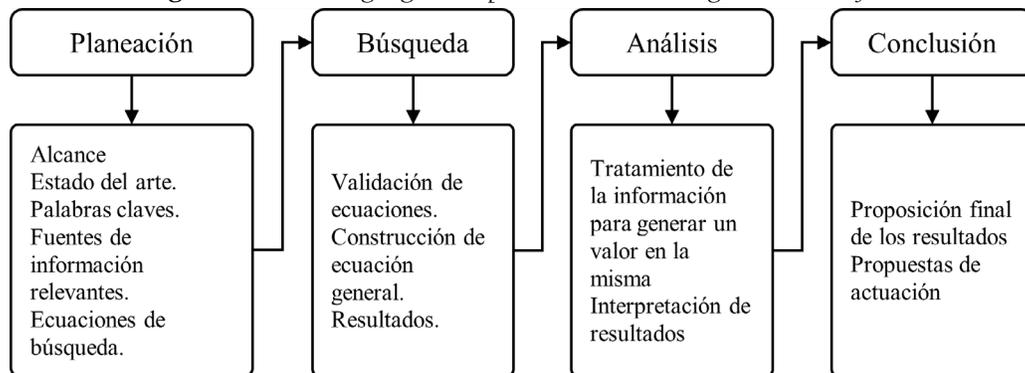
La implementación de técnicas de producción de biofertilizantes debe adaptarse a las condiciones locales y tener en cuenta aspectos socioeconómicos, dado que la disponibilidad de residuos orgánicos y las necesidades nutricionales de los cultivos pueden variar según la región (Kanda *et al.*, 2021). Además, es esencial llevar a cabo investigaciones y capacitaciones para promover la adopción de prácticas sostenibles de manejo de residuos y la producción de biofertilizantes entre los agricultores y otros actores del sector agrícola (Raimi *et al.*, 2021).

Este capítulo tiene como propósito ofrecer una revisión bibliométrica de la producción científica de los últimos cinco años, en relación con el desarrollo de biofertilizantes a partir de residuos orgánicos, y resaltar la importancia de la disponibilidad de estos residuos para garantizar una producción sostenible y ambientalmente responsable. (observación 1: aclarar el rango temporal, ya que la búsqueda se realizó en un lapso comprendido ente el 2014 -2023, ambos inclusive)

Métodos

Esta sección detalla los métodos empleados en el desarrollo de la investigación, la cual se llevó a cabo en cuatro etapas. Para ello, se aplicó una metodología de revisión sistemática fundamentada en criterios de búsqueda y selección de documentos relevantes. La Figura 1 ilustra el diagrama de flujo que representa la información obtenida a lo largo de las distintas fases de la investigación.

Figura 1. Metodología general para realizar una vigilancia científica.



Nota. La figura muestra el diseño metodológico para alcanzar el objetivo propuesto en el presente documento. Fuente: adaptado de (AENOR UNE, 2018) Planeación de la Búsqueda y Definición del Alcance.

En la primera etapa, se definió el objetivo de la búsqueda y se diseñó una estrategia para recopilar información de manera estructurada. Inicialmente, se seleccionaron 42 palabras claves (Apéndice A1) directamente relacionadas con el tema, las cuales se identificaron en diversos artículos científicos. Para elegir las palabras clave, se realizó una revisión bibliográfica preliminar de documentos vinculados al tema en estudio. Se optó por aquellas palabras que guardaron una relación más estrecha con la producción de biofertilizantes y presentaron mayor frecuencia de ocurrencias. Posteriormente, se seleccionaron fuentes de información pertinentes y se formularon ecuaciones basadas en las palabras clave seleccionadas. El horizonte de búsqueda se estableció sobre los últimos diez años (2014–2023).

Búsqueda y validación de ecuaciones

En esta segunda etapa, se validaron las ecuaciones previamente establecidas, restringiendo los resultados a aquellos obtenidos en Scopus. Las ecuaciones de búsqueda se conformaron utilizando dos o más palabras clave relacionadas, vinculadas mediante los operadores AND y OR. Para realizar la búsqueda, se tuvieron en cuenta las publicaciones a partir del año 2014, incluyendo artículos científicos, capítulos de libro, resúmenes de conferencias, documentos de conferencias y revisiones. A partir de esta información, se generó la ecuación general de búsqueda y se identificó la producción científica sobre biofertilizantes basados en residuos orgánicos dentro de la ventana de observación, así como los autores e instituciones destacadas, los países con mayor cantidad de publicaciones, las áreas temáticas y las tecnologías más empleadas para el aprovechamiento de residuos orgánicos.

Análisis de los metadatos e interpretación de resultados

En esta tercera etapa, se emplearon herramientas de apoyo (por ejemplo, VOSviewer) para obtener visualizaciones simplificadas de los datos. Los resultados obtenidos a partir de la ecuación general se recopilaron y se eliminaron las palabras no relacionadas con el tema en estudio. Utilizando el software VOSviewer, se aplicó la técnica de mapeo de coocurrencias mediante agrupación en clústeres para obtener redes bibliométricas representadas en mapas temáticos. Esta información facilitó la identificación de los temas relacionados con el estudio en cuestión.

Desarrollo de propuestas sobre el área de investigación

En la cuarta y última etapa, se llevó a cabo una interpretación exhaustiva y detallada de los resultados obtenidos. Se analizaron las tendencias, patrones y conexiones identificadas en las etapas previas, lo que permitió obtener una comprensión más

profunda de la investigación en el campo de los biofertilizantes. A partir de este análisis, se propusieron estrategias y acciones específicas para apoyar y optimizar el proceso productivo de biofertilizantes, incluyendo la adopción de tecnologías innovadoras, fomento de la cooperación interdisciplinaria y promoción de políticas públicas enfocadas en la sostenibilidad y responsabilidad ambiental. Esta información es clave para orientar futuras investigaciones y prácticas en el ámbito de la producción de biofertilizantes a partir de residuos orgánicos.

Resultados y discusión

Esta sección presenta los hallazgos más significativos de la vigilancia científica y ofrece una discusión detallada en torno a los hallazgos obtenidos. Se analizan las tendencias emergentes, las tecnologías y metodologías claves, así como las áreas de investigación y enfoques predominantes en el campo de los biofertilizantes.

Ecuaciones de búsqueda validadas

La Tabla 1 muestra las ecuaciones de búsqueda validadas y el número de documentos obtenidos en cada caso.

Tabla 1. *Listado de ecuaciones de búsqueda.*

No.	Ecuación de Búsqueda	Documentos
1	biofertilizer AND ("food waste" OR "agricultural waste" OR "organic waste" OR "organic material" OR compost AND production OR "aerobic digestion")	244
2	"aerobic digestion" AND "organic fertilizer"	10
3	biofertilizer AND macronutrients AND (carbon OR nitrogen OR phosphorous OR potassium)	47
4	biofertilizer AND micronutrients AND soil OR organic	99
5	biofertilizer AND "c/n ratio"	58
6	biofertilizer AND production AND "crop residue"	22
7	biofertilizer AND "organic waste" AND manure AND bovine AND production	4
8	biofertilizer AND "organic waste" AND "agricultural waste" AND production	7
9	biofertilizer AND ("livestock manure" OR "crop residue"	52
10	biofertilizer AND feces OR livestock OR "beef cattle"	85
11	biofertilizer AND soil AND ("nutrient availability") AND manure	19
12	biofertilizer AND variables AND (ph OR temperature)	33

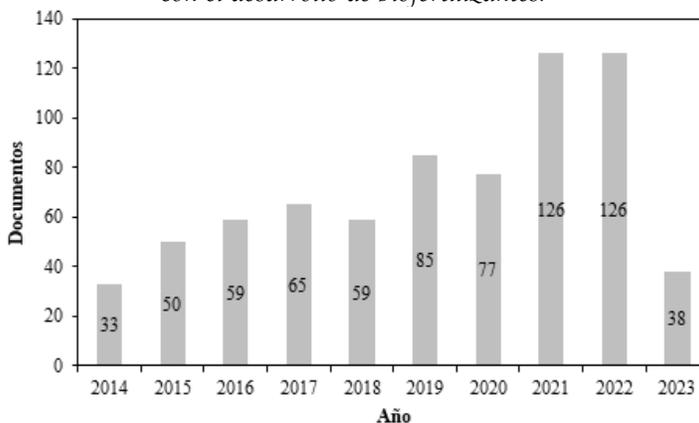
No.	Ecuación de Búsqueda	Documentos
13	biofertilizer AND organic AND waste AND residue	61
14	“Applications manure” AND bovine OR cattle	6
15	biofertilizer AND substrate AND (lignin OR cellulose OR hemicelluloses OR murein OR chitin)	16
16	biofertilizer AND waste AND “organic carbon” AND “total nitrogen”	6
17	biofertilizer AND “environmental factors” AND (temperature OR ph OR aeration OR “moisture content”)	18
18	biofertilizer AND (“aerobic digestion” OR bioreactor)	81
19	biofertilizer AND “sources of nutrients”	43
20	fertilizer AND “manure bovine”	6

Nota. Se obtuvieron un total de 917 coincidencias, de las cuales 719 correspondieron a documentos únicos; la configuración de la búsqueda se ejecutó con los términos AND y OR en Scopus, y se obtuvieron resultados de tipo artículos de investigación, revisión bibliográfica, capítulos de libros, artículos de sesión y artículos de conferencia, los documentos excluidos resultaron de coincidencias replicadas, posterior a la selección de los textos, se procedió al análisis que nos permitió una interpretación detallada de los documentos más enfocados en la tecnología en estudio.

Producción Científica

La Figura 2 muestra la tendencia mundial de publicación de artículos de investigación en el área de estudio.

Figura 2. Tendencia mundial de la publicación de documentos de investigación relacionados con el desarrollo de biofertilizantes.



Nota. La figura ilustra la evolución de la producción científica en el ámbito global, desde 2014 hasta 2023, en relación con la elaboración de biofertilizantes a partir de residuos orgánicos.

Los resultados de la Figura 2 indican que la tendencia en la publicación de estudios relacionados con el área de investigación de biofertilizantes ha experimentado un crecimiento considerable en los últimos cinco años. El incremento más significativo tuvo lugar entre 2020 y 2021, mientras que en 2022 se mantuvo una tendencia constante. Hasta el momento, de esta investigación, en 2023 se han identificado 38 documentos publicados, lo que sugiere que el interés mundial en el desarrollo de biofertilizantes es un tema de gran relevancia en la actualidad, dada su relación con fenómenos cruciales que enfrenta la humanidad, como el cambio climático y el manejo adecuado de residuos orgánicos.

Entre los estudios más destacados de los últimos cinco años, resaltan el realizado por Karanja *et al.* (2019). Esta investigación evaluó las modificaciones fisicoquímicas que ocurren durante el proceso de compostaje de estiércol de pollo y asno, utilizándolos como inóculos iniciadores para la transformación de paja de arroz en fertilizante orgánico. A lo largo del proceso, se monitorearon los niveles de temperatura, pH y conductividad eléctrica. Los autores concluyeron que el compostaje de paja de arroz tratada con estiércol de pollo ofrece resultados más eficientes al disminuir los niveles de plomo y cadmio en el compost final. Además, Asses *et al.* (2019), presentaron una propuesta para el proceso de compostaje a gran escala, utilizando subproductos y residuos generados durante el sacrificio de aves. Las mezclas empleadas fueron compuestas por desechos de mataderos avícolas, lodos de depuradora, residuos agrícolas, cartón, polvo de madera y compost activado. Durante el proceso, se monitorearon parámetros fisicoquímicos e indicadores biológicos que permitieron evaluar la calidad del producto final. Se alcanzaron altas temperaturas en la fase termófila, lo que a su vez refleja una elevada actividad microbiana, facilitando la reducción de agentes patógenos y el cumplimiento de los límites establecidos en las normativas vigentes. Los autores concluyen que este tipo de compostaje permite obtener un producto higiénico, con alto contenido de nutrientes y con calidad agronómica.

Por otro lado, Asadu *et al.* (2020) llevaron a cabo un proceso de compostaje a escala piloto utilizando un biorreactor de polietileno. Durante el proceso, en periodos de cinco días, se determinaron la cantidad de nitrógeno, carbono, materia orgánica y pH en el material a compostar. Este estudio demostró que es posible producir un biofertilizante con excelentes características en términos de mineralización de nutrientes del suelo a partir de la degradación de desechos agrícolas utilizando inóculos microbianos como *Streptomyces spp* y *Rothia spp*, ya sea de manera aislada o en conjunto, siendo esta última opción la que mostró mejores resultados, dado los efectos aditivos de las ventajas de ambos microorganismos. Similarmente, Chintagunta *et al.* (2020) propusieron la elaboración de abono orgánico a partir de residuos agrícolas tratados individualmente con cuatro cianobacterias: *Tolypothrix tenuis*, *Anabaena variabilis*, *Fischerella muscicola*

y *Aulosira fertilissima*. Estas cianobacterias permitieron incrementar los porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio en cada residuo, lo que se traduce en una mejora en las características de fertilidad del suelo y en el crecimiento de las plantas.

Dentro de las investigaciones realizadas durante el año 2021, se evidencia el desarrollo de un biofertilizante obtenido de la descomposición microbiana de la mezcla de lodos post biocoagulación y polvo de sierra a partir de digestión anaerobia por Ezemagu *et al.* (2021b), quienes comprobaron que la concentración de zinc, cromo, cobre, cadmio y plomo del resultado de este compostaje se encuentra dentro de los límites permitidos para uso agrícola por lo que es viable y sostenible el aprovechamiento de estos residuos en este tipo de tecnología. Mientras que Chakravarty y Mandavgane (2021), centraron sus estudios en el aprovechamiento eficiente de residuos de frutas y verduras, así como de los desechos generados en mataderos, mediante un proceso de codigestión en dos etapas. La primera etapa consistió en una digestión anaerobia, seguida de una digestión aerobia en la segunda etapa con *Trichoderma reesei*. Como resultado, se observó que más del 60% del contenido lignocelulósico de la materia orgánica se degradó en la primera etapa, mientras que en la segunda etapa se logró la máxima descomposición del material restante, demostrando que es posible la formación de un biofertilizante adecuado para el crecimiento de vegetales.

Ajaweed *et al.* (2022), evaluaron las características fisicoquímicas de biofertilizantes elaborados a partir de residuos orgánicos (RO). Para ello, se realizó el compostaje utilizando una mezcla de residuos orgánicos municipales, residuos agrícolas como hojas secas, estiércol de aves, y aditivos como *Trichoderma harzianum* y ácido húmico. Se monitorearon semanalmente la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, el porcentaje de microorganismos, la materia orgánica, el nitrógeno, el fósforo, el potasio y la relación C/N. El estiércol de aves y animales se considera una buena fuente de microorganismos y un agente de carga durante el compostaje, lo que aumenta los niveles de macro y micronutrientes.

Por otro lado, Hadidi *et al.* (2022) investigaron la valorización de residuos avícolas enriquecidos con algas y melazas mediante su transformación en biofertilizantes. Los resultados mostraron beneficios en términos de seguridad microbiológica y química, cumpliendo con las normativas vigentes para acondicionadores de suelo. De manera similar, Södergren *et al.* (2022), abordaron la seguridad alimentaria microbiológica como un aspecto importante en términos de inocuidad del alimento. Desarrollaron un biofertilizante a partir de digestato anaerobio, lo que representa una propuesta para la producción alimentaria autosostenible.

Gaspar *et al.* (2022), investigadores nativos de Brasil, estudiaron la transformación de materiales orgánicos en biofertilizantes estables enriquecidos con nutrientes a través

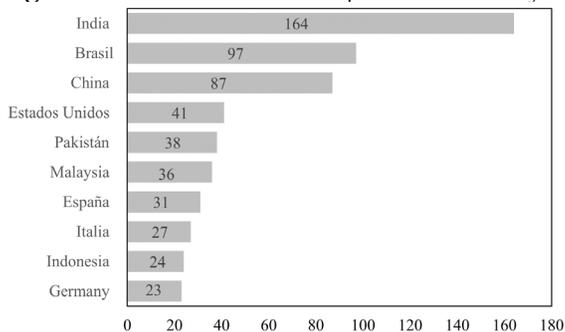
de poblaciones microbianas. Este proceso se realizó en un compostador con temperatura y aireación forzada para reducir los tiempos de degradación y obtener mayores eficacias. Se monitoreó la actividad microbiana y las características fisicoquímicas durante 120 días, y los tratamientos mostraron mejoras en cuanto a la calidad y tiempos del producto final.

Finalmente se destaca el trabajo de Saini *et al.* (2023), quienes propusieron una alternativa para potenciar el uso de la paja de arroz como biomasa en la producción de biofertilizantes. El método consistió en deslignificar la materia prima utilizando clorito de sodio asistido por lacasa ecológico combinado. Este tratamiento permitió una reducción significativa de la lignina y, a su vez, aumentó la cantidad de carbohidratos totales. Estos resultados sugieren que este tipo de tratamiento representa una estrategia prometedora para el desarrollo mejorado de biofertilizantes a partir de la paja de arroz.

Países con mayores publicaciones

La Figura 3 muestra los diez países con mayor número de documentos publicados dentro del alcance de las ecuaciones de búsqueda.

Figura 3. Países destacados en producción científica.



Nota. La figura representa los principales países que toman liderazgo de la producción científica en la elaboración de biofertilizantes desde los años 2014 a 2023 a nivel mundial.

Los resultados obtenidos revelan que la concentración global de investigación y desarrollo (I+D) se presenta mayormente en los países del continente asiático, liderando con alrededor del 48,5% del total de la producción científica, seguido de América con un 19,2% y con menor representación Europa con el 11,3%. La inversión en investigación y desarrollo creció un 19% entre los años 2014 y 2018, y gran parte de ese crecimiento se debe a los aportes realizados por las mayores economías del mundo, China y Estados Unidos.

India es el país con el mayor número de documentos publicados, con un total de 164 documentos. Lo sigue Brasil con 97, China con 87, Estados Unidos con 41, Pakistán con 38, Malaysia con 36, España con 31, Italia con 27, Indonesia con 24 y, finalmente, Alemania con 23. En una de sus investigaciones, Dantroliya *et al.* (2022), autor nativo de India, presenta un enfoque para generar valor agregado a partir del reacondicionamiento de residuos orgánicos y la utilización de comunidades bacterianas, obteniendo así material sólido destinado a la alimentación animal y material líquido como medio de cultivo para cepas de biofertilizantes.

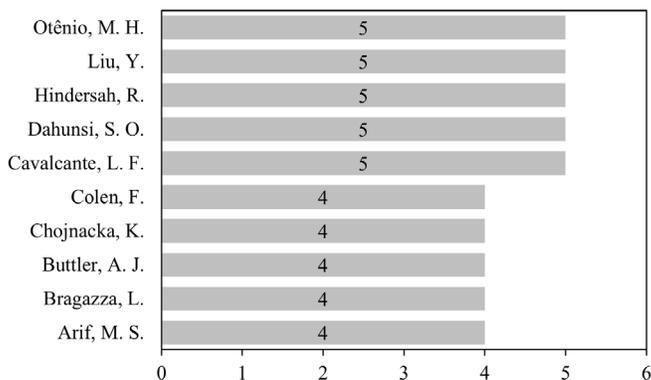
En América Latina y el Caribe, ningún país, excepto Brasil, supera el 1% en inversión en este campo a nivel mundial, considerando que uno de cada cinco países invierte más de este porcentaje de su PIB en Investigación y Desarrollo e industrias del conocimiento (Unesco, 2023). Por otra parte, el continente asiático representa una participación líder debido a que, a lo largo de los años, han conservado un crecimiento del PIB tres veces superior a la media de las principales economías del mundo (Carrasco, 2020b).

La baja producción científica de Europa a nivel mundial se atribuye en gran parte al escaso número de investigadores debido a la baja inversión en I+D, lo que se ve reflejado en la variabilidad de publicaciones realizadas entre los años 2014 y 2023 respectivamente por cada país. Finalmente, se puede concluir que aquellos con mayor inversión en I+D y un mayor número de investigadores son los que publican más documentos científicos.

Autores principales

En la Figura 4 se ilustran los autores que presentan gran visibilidad a nivel internacional por su producción científica.

Figura 4. Autores destacados en la producción científica.



Nota. La gráfica representa los principales autores que toman liderazgo de la producción científica en la elaboración de biofertilizantes, desde los años 2014 a 2023, a nivel mundial.

Los resultados muestran que los autores con mayor número de publicaciones en el área de investigación son Cavalcante, L.F., Dahunsi, S.O., Hindersah, R., Liu, Y. y Otênio, M.H., quienes destacan con una producción científica total de cinco documentos cada uno publicados desde el año 2014 hasta el 2023. Sus estudios se centran en temas relacionados principalmente con las ciencias agrícolas, tecnología bioambiental, energía, producción más limpia, gestión de residuos, energía renovable, microbiología, entre otros temas. Por ejemplo, se han enfocado en el análisis de las propiedades fertilizantes y la calidad sanitaria de los biofertilizantes, y han descubierto la presencia de algunas bacterias como *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Penicillium* y *Aspergillus*, que aumentan la eficiencia del biofertilizante, pero también bacterias patógenas como la *salmonella* y *Klebsiella*, lo que representa un riesgo para la salud del consumidor final (Owamah *et al.*, 2014). También se destacan por la elaboración de cuatro artículos cada uno sobre temas en estudio.

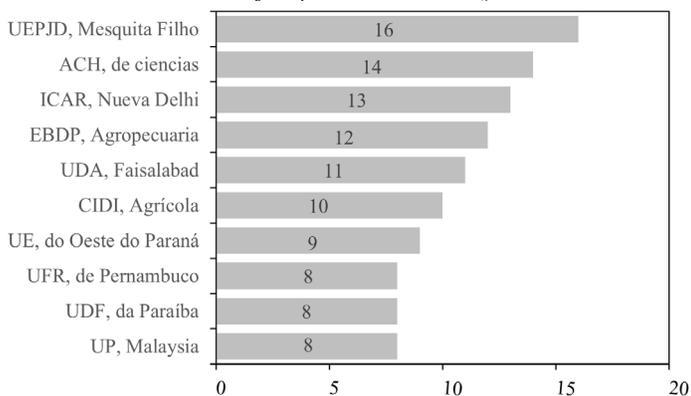
Otros autores que han participado con el mismo número de investigaciones, realizadas entre 2017 y 2022, son Saleem Arif Muhammad, quien se enfoca principalmente en temas como la ecología del suelo aplicada, nutrición vegetal y ciencia del suelo, y Luca Bragazza, Alexandre Buttler, Katarzyna Chojnacka y Fernando Colen, quienes se centran en temas como la ecología del suelo, tecnología bioambiental, ciencias agrícolas, entre otros.

En la investigación de Izydorczyk y Saeid (2022) se muestra una alternativa de sustentabilidad mediante la aplicación de cepas del género *Bacillus* en residuos portadores de fosfato, para lograr una mejor solubilización de este elemento. Para ello, se utilizaron espinas de pescado y cenizas de la incineración de lodos de depuradora. La combinación de estas dos materias primas permitió obtener mejores resultados de solubilización, lo que mejora la eficiencia biológica de las plantas.

Principales instituciones

En la Figura 5 se ilustran las diez instituciones más destacadas en producción científica.

Figura 5. Instituciones con mayor producción científica en el área de estudio.



Nota. La gráfica representa las principales instituciones que toman liderazgo de la producción científica en la elaboración de biofertilizantes desde los años 2014 a 2023 a nivel mundial. UEPJD–Universidad Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Brasil; ACH–Academia China de Ciencias; ICAR–Instituto Indio de Investigación Agrícola, Nueva Delhi, India; EBDP–Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria – Embrapa, Brasil; UDA–Universidad de Agricultura, Faisalabad, Pakistán; CIDI–Consejo Indio de Investigación Agrícola, India; UE–Universidad Estadual do Oeste do Paraná, Brasil; UFR–Universidad Federal Rural de Pernambuco, Brasil; UDF–Universidad de Federal da Paraíba, Brasil; UP–Universiti Putra Malaysia, Selangor.

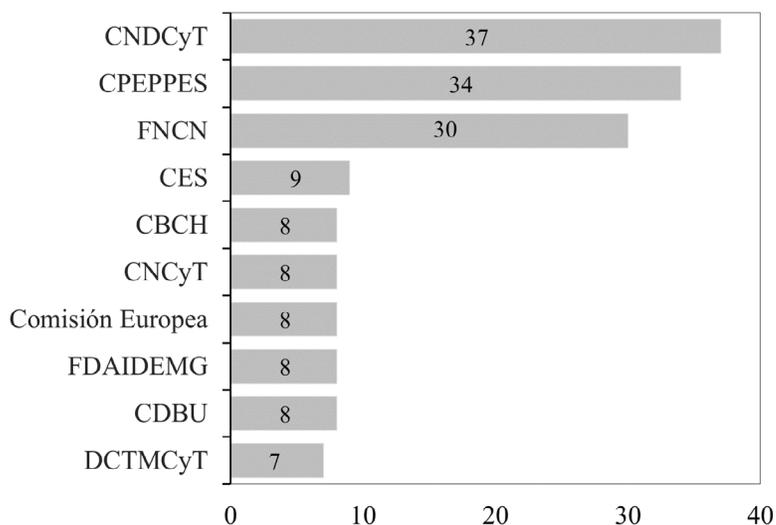
La Universidad Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, ubicada en Brasil, encabeza la lista con 16 publicaciones sobre producción de biofertilizantes, centrándose en sistemas alimentarios sostenibles, alimentación y agricultura. En su investigación, Ronga *et al.* (2019) señala que la sostenibilidad de los cultivos es un tema importante en la actualidad y se necesitan alternativas que mejoren el rendimiento y la calidad de la agricultura, como los biofertilizantes. Esta universidad cuenta con más de 39,805 autores afiliados y más de 97,000 documentos publicados. En segundo lugar se encuentra la Academia China de Ciencias con más de 935,610 documentos publicados y 14 relacionados con el tema en estudio. En las investigaciones realizadas por Nascimento *et al.* (2020), se muestra que la fertirrigación con biofertilizantes puede reemplazar la fertilización convencional y reducir los impactos ambientales generados por la ganadería lechera. El Instituto Indio de Investigación Agrícola, Nueva Delhi, ocupa el tercer lugar con 13 publicaciones en ciencias agrícolas y biológicas, ciencias ambientales y reciclaje de residuos orgánicos. La Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria–Embrapa ocupa el cuarto lugar con 12 publicaciones relacionadas con ingeniería sostenible, progreso biotecnológico y microbiología. En el quinto y sexto lugar se encuentran la Universidad de Agricultura, Faisalabad y el Consejo Indio de Investigación Agrícola, respectivamente, con 11 y diez publicaciones. Le siguen la Universidad Federal Rural de Pernambuco, la

Universidad Federal de Paraíba y la Universiti Putra Malaysia con ocho publicaciones cada una. Algunas investigaciones destacadas son las realizadas por Al-suhaibani *et al.* (2021), que presenta una estrategia para sostener la producción de cultivos mediante el manejo integrado de nutrientes en la planta mediante residuos agrícolas compostados y biofertilizantes.

Entidades financiadoras

En la **Figura 6** se ilustran las diez entidades más destacadas en producción científica.

Figura 6. Patrocinadores de financiación.



Nota. La gráfica representa las principales entidades financiadoras líderes en la producción científica sobre elaboración de biofertilizantes desde los años 2014 a 2023 a nivel mundial.

CNDCyT–Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Brasil; CPEPPES–Coordinación para el Perfeccionamiento del Personal de Educación Superior, Brasil; FNCN –Fundación Nacional de Ciencias Naturales, China; CES–Comisión de Educación Superior, Pakistán; Consejo de Becas, China; CNCyT–Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología; Comisión Europea, Europa; FDAIDEMG–Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado, Minas Gerais; CDBU–Comisión de Becas Universitarias; DCTMCyT -Departamento de Ciencia y Tecnología, Ministerio de Ciencia y Tecnología, India.

Dentro de las entidades más destacadas en el área de investigación, el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico es la entidad con el mayor número de documentos publicados, con un total de 37 documentos. Estos documentos se enfocan

principalmente en temas relacionados con las ciencias agrícolas y biológicas, como se muestra en la investigación de Alexandre *et al.* (2021), donde se resalta la importancia de la fertilización orgánica, ya que puede proporcionar aspectos positivos en cuanto a la producción y calidad de los cultivos.

En segundo lugar se encuentra la Coordinación para el Perfeccionamiento del Personal de Educación Superior ubicada en Brasil, con el patrocinio de 34 artículos enfocados principalmente en las ciencias agrícolas y biológicas, y la ciencia medioambiental. A continuación, la Fundación Nacional de Ciencias Naturales de China, con 30 investigaciones, en las cuales se encuentra el estudio de Zhang *et al.* (2020), donde se presenta una idea para la producción de biofertilizantes implementando bacterias oxidantes de nitrógeno en cultivos mixtos.

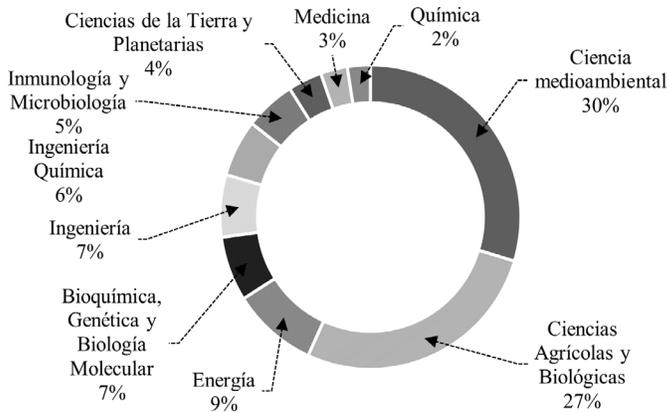
Con el patrocinio de nueve documentos encontramos a la Comisión de Educación Superior de Pakistán, y con ocho documentos a El Consejo de Becas de China, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Comisión Europea, Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de Minas Gerais y Comisión de Becas Universitarias, apoyando temas como la bioquímica, genética y biología molecular. Entre ellos se destaca la investigación realizada por Klaic *et al.* (2021), en la que se propone la creación de biofertilizantes mediante la sinergia del hongo *Aspergillus niger*, generalmente encontrado en el suelo, y de un compuesto a base de una matriz de almidón de fácil degradación, integrada principalmente por óxidos minerales y azufre (S). Este método permite acrecentar la solubilidad de los micronutrientes zinc (Zn), magnesio (Mn) y cobre (Cu) en la agricultura, aumentando la productividad y vida útil de los cultivos, lo que se vería reflejado en una agricultura más sostenible.

Finalmente, el Departamento de Ciencia y Tecnología, Ministerio de Ciencia y Tecnología de India, cuenta con siete apartados relacionados con tecnología e innovación ambiental, microbiología e indicadores ecológicos.

Documentos por área temática

La Figura 7 muestra la participación de diferentes áreas temáticas en las cuales se han publicado los documentos hallados dentro del área de investigación.

Figura 7. Artículos clasificados por área temática.



Nota. La gráfica representa las diez principales áreas temáticas que toman liderazgo de la producción científica en la elaboración de biofertilizantes desde los años 2014 a 2023 a nivel mundial.

Dentro de las áreas más destacadas, en primer lugar se encuentra la ciencia medioambiental, que representa el 27.2% del total (350 documentos publicados entre 2014 y 2023), como se muestra en la Figura 7. Esta área se enfoca principalmente en el reciclaje de residuos orgánicos en la agricultura, incluyendo estudios como el de Tashi *et al.* (2023), que evaluaron los efectos de un biofertilizante en el rendimiento de cultivos y la fertilidad del suelo. Otros temas relevantes en esta área son la valorización de residuos y biomasa, el progreso ambiental y la energía sostenible. En segundo lugar, las ciencias agrícolas y biológicas representan el 24.7% del total (319 documentos), abarcando temas como el uso y manejo del suelo, agronomía, reciclaje, agricultura renovable y sistemas alimentarios. Hills *et al.* (2021) contribuyeron a esta área evaluando la demanda de fertilizantes elaborados con residuos biológicos derivados del estiércol de vacas lecheras para determinar el potencial de estas tecnologías. En tercer lugar, con un 8.4%, se encuentran 108 artículos relacionados con la energía, abordando temas como la tecnología de biorecursos y el desarrollo de biofertilizantes por vermiestabilización de malezas de aguas residuales farmacéuticas (Dhadse *et al.*, 2021).

También se incluyen fuentes ambientales, sostenibles y biorrefinerías, entre otros. A continuación, el área de bioquímica, genética y biología molecular representa el 6.3% del total con 81 documentos. Entre ellos, destaca un estudio de Parab y Shankhadarwar (2022) que propone la estimulación del crecimiento de cultivos agrícolas mediante fertilizantes líquidos con base en algas marinas, ricas en macro y micronutrientes, así como en múltiples reguladores del crecimiento necesarios para las plantas. Le sigue el

área de Ingeniería, con un 6.1% del total de publicaciones, como las realizadas por Lai *et al.* (2023), que evaluaron la eficacia de procesos de compostaje utilizando residuos alimentarios como cáscaras de plátano, huevos y col rizada china, demostrando resultados positivos en cuanto a los beneficios para las plantas.

En sexto lugar, la ingeniería química abarca el 5.6% del total (72 documentos), enfocándose en parte en la ingeniería sostenible y en la producción de biofertilizantes a base de microorganismos simples o dobles, empleando el concepto de compuestos granulares como alternativa para la solubilización de fósforo y control de enfermedades en las plantas (Li, 2022). El séptimo lugar lo ocupa la Inmunología y la Microbiología, con un 5% del total (64 publicaciones), investigando la eficiencia de procesos de compostaje utilizando residuos de frutas e inoculando bacterias solubilizadoras de fosfato, que permiten la producción de ácidos orgánicos para facilitar la absorción por parte de la planta, mejorando su productividad y crecimiento (Ahmad *et al.*, 2022). El área de Ciencias de la Tierra y planetarias ocupa el siguiente lugar, representando el 3.3% del total (43 documentos).

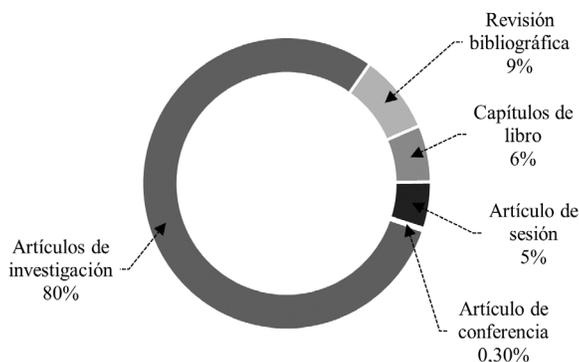
A continuación, encontramos la medicina con un 2.6% (34 documentos) y la química con un 2.2% (29 publicaciones). Otras áreas como Ciencias Sociales, Farmacología, Toxicología y Farmacéutica, Ciencias de la Computación, Negocios, Gestión y Contabilidad, Ciencia de los Materiales, Multidisciplinarias, Física y Astronomía, Economía, Econometría y Finanzas, Profesiones de la Salud, Matemáticas, Veterinaria, Ciencias de la Decisión y Neurociencias, representan en conjunto un 8.5% del total (139 documentos publicados).

Con base en estos resultados, podemos afirmar que las áreas de investigación más destacadas son la ciencia medioambiental, las ciencias agrícolas y biológicas, y la energía. Estas áreas abarcan temas como el reciclaje de residuos orgánicos en la agricultura, el uso y manejo del suelo, la agronomía, la tecnología de biorrecursos y el desarrollo de biofertilizantes, entre otros. A medida que la investigación avanza en estos campos, se espera que se sigan desarrollando soluciones innovadoras y sostenibles para enfrentar los desafíos actuales y futuros.

Tipo de documentos

En la Figura 8 se muestra el tipo de documentos que se relacionan en este estudio sobre la producción de biofertilizantes.

Figura 8. Tipo de documentos relacionados con la elaboración de biofertilizantes.



Nota. La gráfica representa el tipo de documentos relacionados con la producción de biofertilizantes desde los años 2014 a 2023 a nivel mundial.

Los resultados revelan que los artículos de investigación constituyen el 80% del total de documentos encontrados, sumando 571 publicaciones. A continuación, se ubican las revisiones bibliográficas con 63 documentos, capítulos de libros con 45, artículos de sesiones con 37 y, finalmente, artículos de conferencias con dos publicaciones. Dentro de las investigaciones tipo revisión, encontramos, por un lado, el trabajo de Solehah *et al.* (2022), quienes implementan biofertilizantes microbianos utilizando materiales alimenticios fermentados en busca de sus beneficios para mejorar el crecimiento y desarrollo general de las plantas. Esto se debe a que estos biofertilizantes proporcionan una amplia gama microbiana que contribuye al enriquecimiento del contenido nutricional. Por otro lado, Benyahya *et al.* (2022) resaltan la importancia de los diferentes parámetros críticos que influyen en el proceso de digestión anaerobia durante la producción de biofertilizantes. Entre estos parámetros se incluyen el pH, la humedad, la temperatura, la tasa de carga orgánica, la relación carbono-nitrógeno y el contenido de sólidos totales. Estos factores son esenciales para comprender y optimizar la producción de biofertilizantes a través de procesos anaeróbicos.

Análisis de coocurrencias entre palabras clave

La Figura 9 muestra el mapa de tendencias relacionadas con la producción de biofertilizantes.

Aspergillus fumigatus y *Candida tropicalis*. Finalmente, se demostró que las deyecciones de animales en estudio afectaron significativamente a la comunidad bacteriana.

Por otra parte, encontramos el segundo clúster (rojo), el cual se enfoca en todo lo relacionado con los abonos orgánicos elaborados a partir de biomasa mediante la implementación de equipos biorreactores y la caracterización de estos sustratos en cuanto a humedad, proteína, hidrógeno, pH, temperatura, entre otros. Alzamel *et al.* (2022) demostraron que los fertilizantes orgánicos son una fuente valiosa de materia orgánica y nutrientes esenciales para las plantas, y se pueden usar de manera segura para el suelo, los cultivos y el medio ambiente.

El tercer clúster de color amarillo está orientado a la producción de compost de residuos generados en la agricultura y materia orgánica proveniente de animales, como lo es el estiércol vacuno. Raja *et al.* (2021) definen este último como un residuo no digerido del material alimenticio de la vaca, siendo su composición principal la lignina, celulosa y hemicelulosa. Se utiliza especialmente como biofertilizante.

El cuarto clúster de color morado muestra palabras asociadas a los nutrientes del compostaje. Según los estudios de Leena *et al.* (2021), los principales nutrientes son nitrógeno, fósforo y potasio. Estos autores demostraron la bioconversión de estiércol de vaca y aserrín mediante la técnica del vermicompostaje.

Por último, el quinto clúster de color azul destaca palabras relacionadas con la caracterización de la materia prima, como la celulosa, hemicelulosa y lignina, además de sus componentes fisicoquímicos. Los desechos de alimentos tienen un gran potencial para mejorar la producción de biofertilizantes, como se demuestra en los estudios de Areeshi (2022), quien constata que estos se encuentran en forma biodegradable y, por lo tanto, de manera eficiente ayudan a acelerar la actividad metabólica microbiana, logrando mejores resultados en cuanto a la degradación del material orgánico.

Propuestas de Actuación

Los resultados del presente trabajo permitieron establecer el estado actual de la investigación y desarrollo relacionada con la producción de biofertilizantes mediante la valorización de residuos agrícolas, las principales fuentes de conocimiento, así como identificar las tendencias mundiales relacionadas. En ese sentido, se logró determinar que la tecnología de biofertilizantes tendrá un desarrollo potencial en los próximos años debido a su efectividad, protección del medio ambiente y bajo costo, lo que se plantea como el inicio para promover una agricultura enfocada en la sostenibilidad y producción más limpia, en la cual la rentabilidad económica, la seguridad de los agricultores y consumidores y el respeto por el medio ambiente son pilares.

En ese orden, el desarrollo de biofertilizantes debe considerar diversos aspectos como factores ambientales, un estudio más profundo sobre la producción de inoculantes que permitan mejorar la cantidad de macronutrientes necesarios (nitrógeno, fósforo, potasio) en el compost final para estimular el crecimiento de la planta, monitoreo de las variables requeridas para controlar la calidad en las etapas de producción, vida útil, reutilización de líquidos lixiviados como inoculantes de proceso y desarrollo de biofertilizantes autosustentables que permitan al gremio agricultor el uso eficiente de recursos generados durante la cosecha.

Conclusiones

Se identificó una totalidad de 719 documentos científicos en el marco de la búsqueda para la revisión bibliométrica sistemática sobre la producción de biofertilizantes a base de residuos orgánicos de origen vegetal y/o animal, las investigaciones dieron inicio desde el año 2014 hasta una proyección realizada para el 2023, los documentos resaltan la importancia del aprovechamiento de estos residuos mediante su transformación en abonos orgánicos como el compost y biofertilizantes, métodos de producción y los beneficios que estos aportan mejorando las características del suelo y a su vez favoreciendo el crecimiento de la planta, por otra parte, encontramos la producción de inóculos en su mayoría de origen animal, los cuales se utilizan como base del cultivo y como vectores para la dispersión del mismo en el sustrato final. A través de la investigación, podemos ultimar que existen diversos mecanismos y tecnologías mediante las cuales se permite el uso eficiente y máximo aprovechamiento de residuos orgánicos provenientes de la producción agrícola, agroindustrial e industrial, actualmente una de las tecnologías más implementadas es la obtención de enmiendas orgánicas del suelo como biofertilizantes y productos derivados que permiten ser una alternativa viable para el uso masivo de fertilizantes químicos, debido a que son tratamientos eficaces y especialmente respetuosos con el medio ambiente, lo que nos permite concluir que el área de ingeniería se encuentra subexplotada en relación con la producción científica sobre biofertilizantes.

Apéndices

A1. Palabras clave

Nº	Keywords	Palabras clave
1	Biofertilizer	Biofertilizante
2	aeration	aireación
3	agricultural waste	residuos agrícolas
4	aerobic	aeróbico
5	aerobic digestion	digestión aerobia
6	applications manure	aplicaciones de estiércol
7	biodigester	biodigestor
8	biodigestion	biodigestión
9	c/n ratio	relación c/n
10	cattle	ganado
11	cellulose	celulosa
12	chitin	quitina
13	compost	compost
14	composting	compostaje
15	crop residue	residuos de cultivo
16	degradation	degradación
17	environmental factors	factores ambientales
18	feces	heces
19	food waste	residuos de alimentos
20	hemicelulosa	hemiceluloses
21	lignin	lignina
22	livestock manure	estiércol de ganado
23	macronutrients	macronutrientes
24	manure	estiércol
25	matter organic	materia orgánica
26	microorganisms	microorganismos
27	moisture content	contenido de humedad
28	murein	mureína

N°	Keywords	Palabras clave
29	nutrient availability	disponibilidad de nutrientes
30	organic carbon	carbono orgánico
31	organic waste	residuos orgánicos
32	ph	pH
33	production	producción
34	soil	suelo
35	sources of nutrients	fuelle de nutrientes
36	substrate	sustrato
37	temperature	temperatura
38	total nitrogen	nitrógeno total
39	waste products	productos de desecho
40	organic fertilizer	fertilizante orgánico
41	beff cattle	ganado vacuno
42	bioreactor	bioreactor

A2. Ecuación general de búsqueda

(TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND (“food waste” OR “agricultural waste” OR “organic waste” OR “organic material” OR compost AND production OR “aerobic digestion”)) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (“aerobic digestion” AND “organic fertilizer”) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND macronutrients AND (carbon OR nitrogen OR phosphorous OR potassium)) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND micronutrients AND soil OR organic) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND “c/n ratio”) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND production AND “crop residue”) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND “organic waste” AND manure AND bovine AND production) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND “organic waste” AND “agricultural waste” AND production) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND (“livestock manure” OR “crop residue”)) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND feces OR livestock OR “beef cattle”) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND soil AND (“nutrient availability”) AND manure) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND variables AND (ph OR temperature)) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND organic AND waste AND residue) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (

“Applications manure” AND bovine OR cattle) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND substrate AND (lignin OR cellulose OR hemicelluloses OR murein OR chitin)) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND waste AND “organic carbon” AND “total nitrogen”) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND “environmental factors” AND (temperature OR ph OR aeration OR “moisture content”)) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND (“aerobic digestion” OR bioreactor)) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND “sources of nutrients”) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (fertilizer AND “manure bovine”) AND PUBYEAR > 2013)

Referencias

- Ahmad, A., Zafar, U., Khan, A., Haq, T., Mujahid, T., & Wali, M. (2022). Effectiveness of compost inoculated with phosphate solubilizing bacteria. *Journal of Applied Microbiology*, 133(2), 1115–1129. <https://doi.org/10.1111/jam.15633>
- Ajaweed, A. N., Hassan, F. M., & Hyder, N. H. (2022). Evaluation of Physio-Chemical Characteristics of Bio Fertilizer Produced from Organic Solid Waste Using Composting Bins. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 4738, 14(8), 4738. <https://doi.org/10.3390/SU14084738>
- Alexandre, F. da S., Candeias, A. L. B., & Gomes, D. D. M. (2021). Revista Brasileira de Geografia Física. *Revista Brasileira de Geografia*, 01, 758–769.
- Al-suhaibani, N., Selim, M., Alderfasi, A., & El-hendawy, S. (2021). Integrated application of composted agricultural wastes, chemical fertilizers and biofertilizers as an avenue to promote growth, yield and quality of maize in an arid agro-ecosystem. *Sustainability (Switzerland)*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/su13137439>
- Alzamel, N. M., Taha, E. M. M., & Bakr, A. A. A. (2022). *Effect of Organic and Inorganic Fertilizers on Soil Properties , Growth Yield , and Physiochemical Properties of Sunflower Seeds and Oils*.
- Areeshi, M. Y. (2022). Recent advances on organic biofertilizer production from anaerobic fermentation of food waste: Overview. *International Journal of Food Microbiology*, 374(April). <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109719>
- Asadu, C. O., Ike, I. S., Onu, C. E., Egbuna, S. O., Onoh, M. I., Mbah, G. O., & Eze, C. N. (2020). Investigation of the influence of biofertilizer synthesized using microbial inoculums on the growth performance of two agricultural crops. *Biotechnology Reports*, 27, e00493. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00493>
- Asses, N., Farhat, W., Hamdi, M., & Bouallagui, H. (2019). Large scale composting of poultry slaughterhouse processing waste : Microbial removal and agricultural biofertilizer application. *Process Safety and Environmental Protection*, 124, 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.02.004>
- Benyahya, Y., Fail, A., & Alali, A. (2022). *Recovery of Household Waste by Generation of Biogas as Energy and Compost as Bio-Fertilizer — A Review*.

- Carrasco, L. S. (2020a). Biofertilizers For Sustainable Agriculture: Isolation And Genomic Characterization Of Nitrogen-Fixing Bacteria From Sugarcane. *Georgia Institute of Technology*, 230.
- Carrasco, L. S. (2020b). *Comercio y Desarrollo en Asia*. Universidad de Vlladolid.
- Chakravarty, I., & Mandavgane, S. A. (2021). Valorization of fruit and vegetable waste for bio-fertilizer and biogas. *Journal of Food Process Engineering*, 44(2). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13512>
- Chintagunta, A. D., Kumar, S. P. J., Krishna, M. S., Manvitha, A., & Kumar, N. S. S. (2020). *Studies on Bioconversion of Agri-waste to Biomanure Studies on Bioconversion of Agri-waste to Biomanure*. July.
- CVN. (2019, May 23). *La demanda de fertilizantes a nivel mundial aumentará*. <https://www.cvn.com.co/admincvn/fertilizantes/>
- Dantoliya, S., Joshi, C., Mohapatra, A., Shah, D., Bhargava, P., Bhanushali, S., Pandit, R., Joshi, C., & Joshi, M. (2022). Creating wealth from waste: An approach for converting organic waste in to value-added products using microbial consortia. *Environmental Technology and Innovation*, 25, 102092. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102092>
- Dhadse, S., Alam, S. N., & Mallikarjuna Rao, M. (2021). Development of nutrient rich biofertilizer by co-vermistabilization of aquatic weeds using herbal pharmaceutical wastewater along with sediment of lake. *Bioresource Technology Reports*, 13(January). <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100633>
- Ezemagu, I. G., Ejimofor, M. I., Menkiti, M. C., & Diyoke, C. (2021). Biofertilizer production via composting of digestate obtained from anaerobic digestion of post biocoagulation sludge blended with saw dust: Physicochemical characterization and kinetic study. *Environmental Challenges*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100288>
- Gaspar, S. S., Assis, L. L. R., Carvalho, C. A., Buttrós, V. H., Ferreira, G. M. dos R., Schwan, R. F., Pasqual, M., Rodrigues, F. A., Rigobelo, E. C., Castro, R. P., & Dória, J. (2022). Dynamics of microbiota and physicochemical characterization of food waste in a new type of composter. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.960196>
- Hadidi, M., Bahlaouan, B., Antri, S. El, Benali, M., & Boutaleb, N. (2022). Biotransformation of food waste to bio-products: biogas and biofertilizer. <https://doi.org/10.1080/00207233.2022.2096953>
- Hills, K., Yorgey, G., & Cook, J. (2021). Demand for bio-based fertilizers from dairy manure in Washington State: A small-scale discrete choice experiment. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 36(2), 207–214. <https://doi.org/10.1017/S174217052000023X>
- Izydorczyk, G., & Saeid, A. (2022). *Sustainable method of phosphorus biowaste management to innovative biofertilizers : A solution for circular economy of the future SC TC TM TS*. 27(February).

- Kah, M., Tufenkji, N., & White, J. C. (2019). Nano-enabled strategies to enhance crop nutrition and protection. In *Nature Nanotechnology* (Vol. 14, Issue 6, pp. 532–540). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0439-5>
- Kanda, W., Geissdoerfer, M., & Hjelm, O. (2021). From circular business models to circular business ecosystems. *Business Strategy and the Environment*, 30(6), 2814–2829. <https://doi.org/10.1002/bse.2895>
- Kapoor, R., Ghosh, P., Kumar, M., Sengupta, S., Gupta, A., Kumar, S. S., Vijay, V., Kumar, V., Kumar Vijay, V., & Pant, D. (2020). Valorization of agricultural waste for biogas based circular economy in India: A research outlook. *Bioresource Technology*, 304, 123036. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123036>
- Karanja, A. W., Njeru, E. M., & Maingi, J. M. (2019). Assessment of physicochemical changes during composting rice straw with chicken and donkey manure. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(Kumar 2011), 65–72. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0270-x>
- Klaic, R., Guimarães, G. G. F., Giroto, A. S., Bernardi, A. C. C., Zangirolami, T. C., Ribeiro, C., & Farinas, C. S. (2021). Synergy of *Aspergillus niger* and Components in Biofertilizer Composites Increases the Availability of Nutrients to Plants. *Current Microbiology*, 78(4), 1529–1542. <https://doi.org/10.1007/s00284-021-02406-y>
- Lai, J. C. H., Wong, W. A. N. Y., Samat, N. U. R. A. S. A., & Bains, R. (2023). *Effectiveness of food waste bio-composted fertilizers on plantations*. 18(1), 17–36.
- Lamma, O. O. (2021). The impact of recycling in preserving the environment. *International Journal of Applied Research*, 7(11), 297–302. <http://www.allresearchjournal.com>
- Leena, D. E. R., Prabakaran, G., Elangovan, M., & Moovendhan, M. (2021). Bioconversion of agro, cattle waste and blended soil into manure by vermicomposting technology. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01754-w>
- Li, Y. (2022). Supporting Information Supporting Information. *Aldenderfer, Mark S., Craig, Nathan M., Speakman, Robert Jeff, and Popelka-Filcoff, Rachel S.*, 2(1), 1–5. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c04021>
- Lin, W., Li, H., & Lin, L. (2022). *Dynamics of Microbial Community during the Co-Composting of Swine and Poultry Manure with Spent Mushroom Substrates at an Industrial Scale*.
- Mączik, M., Gryta, A., & Frąc, M. (2020). Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. *Advances in Agronomy*, 162, 31–87. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.001>
- Marcela, D., Moreno, L., Andrea, E., Torres, A., & Gómez Álvarez, M. I. (2018). *El mercado de los biofertilizantes*. 1–26.
- Nascimento, A. D. M., Maciel, A. M., Batista, J., & Silva, G. (2020). *Biofertilizer Application on Corn (Zea mays) Increases the Productivity and Quality of the Crop Without Causing Environmental Damage*.

- Osorio-Reyes, J. G., Valenzuela-Amaro, H. M., Pizaña-Aranda, J. J. P., Ramírez-Gamboa, D., Meléndez-Sánchez, E. R., López-Arellanes, M. E., Castañeda-Antonio, M. D., Coronado-Apodaca, K. G., Gomes Araújo, R., Sosa-Hernández, J. E., Melchor-Martínez, E. M., Iqbal, H. M. N., Parra-Saldivar, R., & Martínez-Ruiz, M. (2023). Microalgae-Based Biotechnology as Alternative Biofertilizers for Soil Enhancement and Carbon Footprint Reduction: Advantages and Implications. In *Marine Drugs* (Vol. 21, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/md21020093>
- Owamah, H. I., Dahunsi, S. O., Oranusi, U. S., & Alfa, M. I. (2014). *Fertilizer and sanitary quality of digestate biofertilizer from the co-digestion of food waste and human excreta*. 34, 747–752.
- Parab, A., & Shankhadarwar, S. (2022). Growth enhancement of agricultural crops using seaweed liquid fertilizer. *Plant Science Today*, 9(2), 322–330. <https://doi.org/10.14719/pst.1439>
- Raihan, A. (2023). The dynamic nexus between economic growth, renewable energy use, urbanization, industrialization, tourism, agricultural productivity, forest area, and carbon dioxide emissions in the Philippines. *Energy Nexus*, 9, 100180. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100180>
- Raihan, A., & Tuspekova, A. (2022). Dynamic impacts of economic growth, renewable energy use, urbanization, industrialization, tourism, agriculture, and forests on carbon emissions in Turkey. *Carbon Research*, 1(1). <https://doi.org/10.1007/s44246-022-00019-z>
- Raimi, A., Roopnarain, A., & Adeleke, R. (2021). Biofertilizer production in Africa: Current status, factors impeding adoption and strategies for success. In *Scientific African* (Vol. 11). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00694>
- Raja, M. K. M. M., Manne, R., & Devarajan, A. (2021). Benefits of Cow Dung—A Human Ignored Gift. *Journal of Natural Remedies*, 21(3), 189–202. <https://doi.org/10.18311/JNR/2021/26653>
- Rathnathilaka, T., Premarathna, M., Madawala, S., Pathirana, A., Karunaratne, K., & Seneviratne, G. (2023). Biofilm biofertilizer application rapidly increases soil quality and grain yield in large scale conventional rice cultivation: a case study. *Journal of Plant Nutrition*, 46(7), 1220–1230. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2067064>
- Ronga, D., Caradonia, F., Setti, L., Hagassou, D., Giaretta Azevedo, C. V., Milc, J., Pedrazzi, S., Allesina, G., Arru, L., & Francia, E. (2019). Effects of innovative biofertilizers on yield of processing tomato cultivated in organic cropping systems in northern Italy. *Acta Horticulturae*, 1233, 129–135. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1233.19>
- Saini, S., Kuhad, R. C., & Sharma, K. K. (2023). Valorization of rice straw biomass for co-production of bioethanol, biopesticide and biofertilizer following an eco-friendly biorefinery process. *Process Safety and Environmental Protection*, 173(March), 823–836. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.03.044>
- Södergren, J., Larsson, C. U., Wadsö, L., Bergstrand, K. J., Asp, H., Hultberg, M., & Schelin, J. (2022). Food waste to new food: Risk assessment and microbial community analysis of

- anaerobic digestate as a nutrient source in hydroponic production of vegetables. *Journal of Cleaner Production*, 333(December 2021). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130239>
- Solehah, N., Zaini, M., Idris, H., Yaacob, J. S., Abd, W., Qadr, A., Iskandar, N., Samsudin, P., Shairah, A., Sukor, A., Lim, E. J., Hafiz, M., & Rahim, A. (2022). *The Potential of Fermented Food from Southeast Asia as Biofertiliser*. 1–18.
- Tashi, S., Wangchuk, K., Udas, E., Gaki, S., & Aryal, K. (2023). A solution at the doorsteps: Improved biofertilizer enhances soil fertility and yield of Chili (*Capsicum annuum* L.) in Bhutan. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 12(2), 259–267. <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2022.1952686.1416>
- Unesco. (2023). Aumenta la inversión en investigación y desarrollo en el mundo, pero continúa muy concentrada. In *Unesco Montevideo*.
- Zhang, W., Niu, Y., Li, Y. X., Zhang, F., & Jianxiong Zeng, R. (2020). Enrichment of hydrogen-oxidizing bacteria with nitrate recovery as biofertilizers in the mixed culture. *Bioresource Technology*, 313(June), 123645. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123645>

La diversidad de la familia Araneidae (*arachnida: araneae*) en Colombia: una actualización del listado de especies

The Diversity of the Family Araneidae (arachnida: araneae) in Colombia: an Update of the List of Species

Yeison López Miranda¹, José Tovar Márquez², Deivys Moisés Álvarez García³

Resumen

Colombia es un país megadiverso que alberga una gran cantidad de especies de animales y plantas, muchos de ellos endémicos. Es de esperarse que para grupos taxonómicos como los artrópodos, que representan más del 80% de las especies de animales en la Tierra, existan muchos registros en este país. Sin embargo, aún persisten grandes vacíos de información al respecto. Tal es el caso de las arañas que, aunque presentan un amplio rango de distribución y son de gran importancia en el equilibrio ecológico como reguladoras de poblaciones de artrópodos, el conocimiento de su diversidad sigue siendo escaso. Este estudio se centró en la actualización del listado de especies de arañas de la familia Araneidae y su distribución por Departamentos en Colombia. Los resultados indican que hay 321 especies de Araneidae en Colombia, lo que representa el 10,27% de las especies descritas a nivel mundial. Los Departamentos con mayor número de registros son Meta, Valle del Cauca y Amazonas, mientras que los Departamentos de Arauca y San Andrés no tienen ningún registro. Por tal motivo es importante que se sigan realizando investigaciones de arañas en Colombia para que de esta manera podamos conocer la diversidad real de este grupo taxonómico y contribuir al conocimiento y conservación de la biodiversidad de artrópodos en el país.

Palabras clave: Araneidos, arañas, Departamentos, distribución, nuevos registros.

1 Biólogo. Grupo de Investigación Zoología y Ecología. Universidad de Sucre, Sincelejo, Sucre, Colombia. yeisonl21@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3033-8884>

2 MSc.(C) Ecología. Universida de Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. Biólogo. Grupo de Investigación Zoología y Ecología. Universidad de Sucre, Sincelejo, Sucre, Colombia. josetovarm10@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5061-1091>

3 Doctor en Sistemática, Taxonomía animal y Biodiversidad. M.Sc. Biología. Biólogo. Grupo de Investigación Zoología y Ecología. Universidad de Sucre, Sincelejo, Sucre, Colombia. deivysalvarez@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7545-5638>

Abstract

Colombia is a megadiverse country that is home to many animal and plant species, many of them endemic. It is to be expected that for taxonomic groups such as arthropods, which represent more than 80% of the animal species on Earth, there are many records in this country. However, there are still large information gaps in this regard. Such is the case of spiders that, although they have a wide range of distribution and are of great importance in the ecological balance as regulators of arthropod populations, knowledge of their diversity remains scarce. This study focused on updating the list of spider species of the Araneidae family and their distribution by Departments in Colombia. The results indicate that there are 321 species of Araneidae in Colombia, which represents 10.27% of the species described worldwide. The Departments with the highest number of records are Meta, Valle del Cauca and Amazonas, while the departments of Arauca and San Andrés do not have any records. For this reason, it is important that research on spiders in Colombia continue to be carried out so that in this way we can know the real diversity of this taxonomic group and contribute to the knowledge and conservation of arthropod biodiversity in the country.

Keywords: Araneids, spiders, departments, distribution, new records.

Introducción

Los arácnidos (Arthropoda: Arachnida)

Los arácnidos son un grupo diverso de invertebrados pertenecientes al Phylum Arthropoda, que incluye arañas (Araneae), escorpiones (Scorpiones), opiliones (Opiliones), ambliopios (Amblypygi), pseudoescorpiones (Pseudoscorpiones), solífugos (Solifugae), uropios (Uropygi), esquizómidos (Schizomida) palpígrados (Palpigradi) y ricinúlidos (Ricinulei), que por sus características morfológicas, fisiológicas y comportamentales se encuentran ampliamente distribuidos en casi todos los ecosistemas terrestres y están presentes en una gran variedad de microhábitats (Bar, 2010; Martínez *et al.*, 2015; Ruggiero *et al.*, 2015; Armas *et al.*, 2017).

Los arácnidos se reconocen por tener el cuerpo dividido en dos regiones o tagmas; una anterior llamada prosoma y una posterior llamada opistosoma, unidos entre sí por una estructura conocida como pedicelo (Francke, 2014). También poseen estructuras llamativas que los separan de los demás grupos de artrópodos, como los quelíceros, pedipalpos y una considerable cantidad de ojos, que van de dos a ocho (Martínez *et al.*, 2015).

De todos los órdenes, las arañas se destacan por ser el más diverso con 51163 especies, seguido de Opiliones (6726 spp.), Pseudoscorpiones (3788 spp.), Scorpiones (2766 spp.) y Solifugae (1146 spp.); mientras que Schizomida (358 spp.), Amblypygi (266 spp.), Uropygi (120 Spp.), Palpigradi (109 spp.) y Ricinulei (89 spp.) Son considerados órdenes menores por poseer una menor riqueza de especies (World Spider Catalog, 2023; Catalogue of Life, 2023).

Generalidades de las Arañas (Arachnida: Araneae)

Araneae es un grupo bastante diverso, actualmente se encuentra constituido por 132 familias, 4.313 géneros y más de 51.000 especies descritas a nivel global (World Spider Catalog, 2023), lo que las hace el séptimo orden de artrópodos más diversos del mundo (Coddington & Levi, 1991). Entre las familias más diversas dentro de Araneae se encuentran Salticidae con 6.555 especies, Linyphiidae con 4.832 spp., Araneidae con 3.125 spp. y Theridiidae con 2.541 especies (World Spider Catalog, 2023). Todas estas pertenecientes al suborden Araneomorphae, que representan el 95% de la araneofauna conocida (Melic *et al.*, 2015).

Con relación a su distribución, las arañas son cosmopolitas, es decir, es posible encontrarlas desde las islas más al norte del Ártico, los desiertos más cálidos y áridos, zonas ricas en vegetación, las cimas de montañas, las profundidades de las cuevas, ecosistemas dulceacuícolas, entre muchos otros lugares (Turnbull, 1973).

El cuerpo de las arañas se divide en dos regiones principales: el prosoma, también conocido como cefalotórax, y el opistosoma, o abdomen. En el prosoma se encuentran los ojos, los quelíceros asociados a glándulas de veneno, los pedipalpos, cuatro pares de patas y el sistema nervioso central. La unión entre el prosoma y el opistosoma se realiza a través de una región estrecha llamada pedicelo. El opistosoma alberga órganos con funciones vegetativas, como las filotráqueas para la respiración, los sistemas circulatorio y digestivo. En la parte ventral del opistosoma se encuentran las hileras, donde se secretan las sedas producidas por glándulas especiales que caracterizan al grupo (Flórez 1996; Foelix 2011; Francke, 2014, Melic *et al.* 2015).

La producción de seda es una innovación clave en este grupo y su uso no solo se limita a la construcción de telas, sino también en el revestimiento interno y externo de los ovisacos, para la construcción de refugios, para la caza, envolver las presas, como mecanismo de dispersión y la protección contra depredadores (Vollrath 1992; Flórez 1996; Melic *et al.*, 2015).

Sus patrones de actividad son principalmente nocturnos; sin embargo, también hay grupos de arañas con actividad diurna. Por lo general, la visión no suele ser un factor esencial en sus estrategias de vida y caza, pero algunas arañas son errantes y no

construyen refugios, confiando en su agudo sentido de la vista para evitar peligros, mientras que otras son sedentarias y pasan la mayor parte de su vida en un mismo lugar desde su nacimiento (Flórez, 1996; Bar, 2010; Melic *et al.*, 2015).

Las arañas presentan una amplia variación en cuanto a su tamaño, desde especies con individuos de tan solo 1 mm hasta arañas que alcanzan los 15 cm de longitud (Bar, 2010; Francke, 2014). Su ciclo biológico varía considerablemente, con algunos individuos que viven solo unos pocos meses y otros superando el año de vida, aunque algunas arañas alcanzan a vivir hasta 20 años. En términos generales, las hembras son más longevas y de mayor tamaño que los machos (Bar, 2010; Foelix 2011).

En cuanto a los aspectos reproductivos, las arañas son ovíparas y tienen una metamorfosis simple, pasando por una serie de mudas sucesivas aun después de haber alcanzado la madurez sexual (Foelix, 2011). Los individuos inmaduros se diferencian de los adultos por no tener las estructuras reproductivas desarrolladas. En los machos adultos, los pedipalpos están modificados para realizar la transferencia de espermatozoides al epiginio de la hembra, y tanto los pedipalpos como el epiginio son utilizados en la taxonomía del grupo (Francke, 2014).

Es importante destacar que la gran mayoría de las arañas son inofensivas para los humanos y son importantes depredadoras: en su dieta figuran muchos tipos de animales, pero sus principales presas son los insectos. Se estima que anualmente las arañas consumen entre 400 y 800 millones de toneladas de insectos (Nyffeler & Birkhofer, 2017), por tal motivo son de gran importancia en el equilibrio ecológico, como reguladoras de poblaciones de artrópodos.

Familia Araneidae

Araneidae es la tercera familia más diversa del orden Araneae, con 189 géneros y más de 3.125 especies (World Spider Catalog, 2023) distribuidas a nivel mundial (Foelix, 2011; Santos *et al.*, 2017). Los araneidos son en general de tamaño mediano a grande, coloridos, algunas de sus especies presentan dimorfismo sexual bastante notorio, como es el caso de algunas especies de *Trichonephila*, *Gasteracantha*, y *Micrathena* (Foelix, 2011) (Figura 1). Pueden reconocerse por presentar ocho ojos dispuestos en dos filas, quelíceros agrandados con cóndilo basal, patas cortas, gruesas y espinosas en todos sus segmentos excepto en los tarsos; el abdomen es globoso, sobresaliendo por encima del prosoma, y puede presentar modificaciones como espinas y tubérculos; el epiginio en las hembras puede estar parcial o totalmente esclerotizado y los palpos de los machos son complejos (Flórez, 1996; Jocqué & Dippenaar-Schoeman, 2006).

La mayoría de los miembros de la familia Araneidae se caracterizan por la construcción de redes orbiculares con orientación vertical. Esas telas son emplazadas

en diferentes sustratos, desde pocos centímetros a nivel del suelo hasta varios metros de altura, y pueden ser muy visibles en la vegetación del sotobosque, haciéndolas particularmente fáciles de detectar (Flórez, 1996; Santos *et al.*, 2017).

El conocimiento actual sobre los Araneidae neotropicales está estrechamente vinculado a la extensa labor del aracnólogo Herbert-Walter Levi (1921-2014), de origen germano-americano, quien trabajó en el Museo de Zoología Comparada de la Universidad de Harvard. A lo largo de 41 años, Levi realizó una serie de monografías taxonómicas minuciosas sobre los araneidos del continente americano (Santos *et al.*, 2017). Estas monografías se destacan por su exhaustiva revisión de la taxonomía de cada género, así como por el meticuloso muestreo de colecciones biológicas, incluyendo aquellas ubicadas en países neotropicales (Santos *et al.*, 2017).

Figura 1. Arañas de la familia Araneidae: A. *Argiope* sp. en su telaraña. B. *Eriophora* sp. en su refugio.



Antecedentes de estudios de arañas en Colombia

La primera especie de araña descrita para Colombia fue *Dysdera solers* por Charles Walckenaer (1837) a partir de un ejemplar recolectado en Cartagena de Indias (Barriga & Moreno, 2013). A partir de ese momento, otros naturalistas, exploradores y científicos siguieron contribuyendo al conocimiento de la diversidad de arañas de este país, por ejemplo: Willis John Gertsch (1906-1998), Arthur M. Chickering (1887-1974), Herbert W. Levi (1921-2014), Norman I. Platnick (1951-2020), Jonathan A. Coddington, entre otros.

En el primer listado de arañas de Colombia se registraron 294 especies por Mello-Leitão (1941). Después, ese número fue elevado a 679 spp. por Flórez-D & Sánchez-C (1995) y luego a 914 spp. por Barriga & Moreno (2013), de las cuales 290 pertenecen a la familia Araneidae.

Departamentos como los de Antioquia y Cundinamarca, en la región Andina, concentraban el mayor número de registros de arañas, según Flórez-D & Sánchez-C (1995). Posteriormente, surgieron estudios como el de Gilede-Moncayo & Bello-Silva

(2000), quienes hicieron el registro de 41 especies de araneidos para Colombia, la mayoría de ellos nuevos registros para la Orinoquia, principalmente en el Departamento del Meta. Por su parte, Pinzón & Sabogal (2010) hicieron el reporte de 26 nuevos registros de Araneidae para la Amazonia colombiana.

Para el Departamento de Sucre, la información sobre araneofauna se ve reducida a los estudios de Peñaloza-Villadiego *et al.* (2013) y Tovar-Márquez *et al.* (2021). En el primero las arañas solo fueron determinadas taxonómicamente a nivel de familia y en el segundo se registraron por primera vez 76 especies con 11 nuevos registros para Colombia.

Está claro que el conocimiento de la araneofauna colombiana continuará creciendo con el desarrollo de nuevos estudios sobre ecología, sistemática, conservación y la construcción de listas y catálogos regionales y locales. Con el desarrollo del presente estudio, se pretendió realizar una revisión bibliográfica para actualizar el listado de las arañas de la familia Araneidae en Colombia y su distribución por Departamentos.

Metodología

Para la actualización del registro de especies de la familia Araneidae en Colombia se partió de la información publicada por Barriga & Moreno (2013), cuya cobertura temporal va desde el 1 de enero de 1831 hasta el 31 de diciembre de 2010. Partiendo de ese punto, se realizó una búsqueda bibliográfica de artículos científicos en diversas ramas de las ciencias biológicas que incluyeran especies de Araneidae en Colombia, publicados entre el 1 de enero de 2011 hasta 31 de diciembre de 2022. No se incluyó literatura gris (trabajos de grado, resúmenes de congresos, informes de investigación, etc.) La búsqueda se realizó en bases de datos y buscadores como Google Scholar, Springer Link, Scielo, Scopus, SiB. Se utilizaron los siguientes términos, junto con conectores boléanos: “Araneidae”, “Arañas”, “Spiders”, “Colombia”. La validez taxonómica de las especies nominales se revisó en el Catálogo Mundial de Arañas (World Spider Catalog).

Resultados

Revisión bibliográfica

En total, se revisaron 12 artículos científicos, de los cuales se extrajo información sobre las especies y localidades. Con la información obtenida se realizó una base de datos, teniendo en cuenta los Departamentos y las especies registradas en cada uno (Escorcia *et al.*, 2012; Barriga & Moreno, 2013; Lise *et al.*, 2015; Villanueva-Bonilla *et al.*, 2017; Quijano Cuervo *et al.*, 2017; Galvis *et al.*, 2018; Salgado *et al.*, 2018; Quijano Cuervo *et*

al., 2019; Cabra-García & Hormiga, 2020; Hopfe *et al.*, 2020; Tovar-Márquez *et al.*, 2021; Shapiro *et al.*, 2022).

Diversidad y distribución de Araneidae en Colombia

En esta revisión bibliográfica se logró recopilar el registro de 321 especies y 48 géneros de arañas de la familia Araneidae en Colombia (Anexo 1), esto es, 31 especies y 5 géneros adicionales con relación al listado de Barriga & Moreno (2013). A su vez, la riqueza de especies y géneros corresponde al 10,27% y 25,4% de lo registrado a nivel mundial.

En cuanto a la distribución, se encontró que la familia Araneidae se distribuye ampliamente por todo el territorio colombiano (Figura 2). Los Departamentos con más registros son Meta, Valle del Cauca y Amazonas con 102, 100 y 76 especies respectivamente, mientras que los Departamentos de La Guajira y Vichada registran 2 y 1 especie respectivamente. Los Departamentos de Arauca y San Andrés no cuentan con registros hasta el momento (Tabla 1).

Las especies con mayor distribución conocida son *Argiope argentata* (Fabricius, 1775), *Mangora melanocephala* (Taczanowski, 1874) y *Micrathena schreibersi* (Perty, 1833) registradas en 15 Departamentos, *Micrathena sexspinosa* (Hahn, 1822) registrada en 14 Departamentos, *Araneus bogotensis* (Keyserling, 1864), *Micrathena lucasi* (Keyserling, 1864) y *Wagneriana undecimtuberculata* (Keyserling, 1865) registradas en 12 de los 32 Departamentos de Colombia (Anexo 1).

Desde el punto de vista de las regiones geográficas, la región amazónica y andina presentan el mayor número de registros de Araneidae, figurando como ecosistemas predominantes la selva amazónica y el bosque andino, mientras que la Región Caribe y la Orinoquia son las que menos registros poseen, teniendo como ecosistemas principales el bosque seco tropical, piedemonte y las llanuras (Tabla 2).

Figura 2. Mapa de Colombia con los registros de arañas de la familia Araneidae por Departamentos.

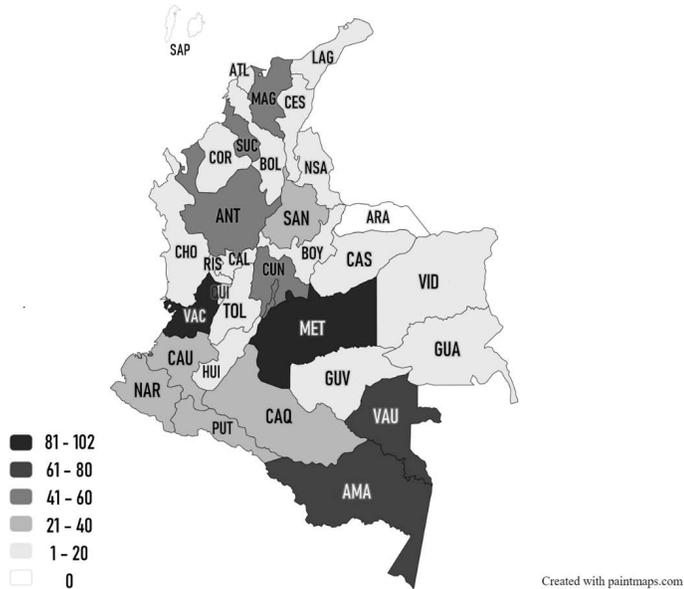


Tabla 1. Listado de géneros y número de especies de la familia Araneidae registrados en Colombia.

Géneros	Número de especies	Géneros	Número de especies
<i>Acacesia</i>	2	<i>Mangora</i>	37
<i>Actinosoma</i>	1	<i>Manogeta</i>	2
<i>Aculepeira</i>	1	<i>Mastophora</i>	1
<i>Alpaida</i>	34	<i>Mecynogea</i>	1
<i>Araneus</i>	14	<i>Metazygia</i>	23
<i>Argiope</i>	3	<i>Metepeira</i>	3
<i>Aspidolasius</i>	1	<i>Micrathena</i>	59
<i>Bertrana</i>	5	<i>Micrepeira</i>	3
<i>Cyclosa</i>	19	<i>Neoscona</i>	3
<i>Cyrtophora</i>	1	<i>Ocrepeira</i>	18
<i>Dubiepeira</i>	3	<i>Parawixia</i>	10
<i>Edricus</i>	1	<i>Pronous</i>	5
<i>Enacrosoma</i>	2	<i>Rubrepeira</i>	1
<i>Encyosaccus</i>	1	<i>Scoloderus</i>	2

Géneros	Número de especies	Géneros	Número de especies
<i>Epeiroides</i>	1	<i>Spilasma</i>	1
<i>Eriophora</i>	4	<i>Taczanowskia</i>	1
<i>Eustala</i>	7	<i>Tatepeira</i>	2
<i>Gasteracantha</i>	1	<i>Testudinaria</i>	1
<i>Gea</i>	1	<i>Trichonephila</i>	1
<i>Hingstepeira</i>	1	<i>Verrucosa</i>	14
<i>Hypognatha</i>	7	<i>Wagneriana</i>	12
<i>Kaira</i>	2	<i>Witica</i>	2
<i>Kapogea</i>	3	<i>Xylethrus</i>	2
<i>Larinia</i>	1	<i>Zygiella</i>	1
Total		48	321

Tabla 2. Distribución de la riqueza de la familia Araneidae por Departamentos y regiones de Colombia.

Región	Departamentos	Registros	Región	Departamentos	Registros
Amazónica	Amazonas (AMA)	76	Caribe	Atlántico (ATL)	14
	Caquetá (CAQ)	25		Bolívar (BOL)	7
	Guainía (GUA)	11		Cesar (CES)	16
	Guaviare (GUV)	3		Córdoba (COR)	5
	Putumayo (PUT)	33		La Guajira (LAG)	2
	Vaupés (VAU)	73		Magdalena (MAG)	55
Andina	Antioquia (ANT)	42	Orinoquía	San Andrés y Providencia (SAP)	0
	Boyacá (BOY)	20		Sucre (SUC)	43
	Caldas (CAL)	4		Arauca (ARA)	0
	Cundinamarca (CUN)	57		Casanare (CAS)	3
	Huila (HUI)	12		Meta (MET)	102
	Norte de Santander (NSA)	14		Vichada (VID)	1
	Quindío (QUI)	7	Pacífica	Cauca (CAU)	23
	Risaralda (RIS)	11		Chocó (CHO)	11
	Santander (SAN)	30		Nariño (NAR)	40
	Tolima (TOL)	9		Valle del Cauca (VAC)	100

Discusión

Entre los géneros más diversos de Araneidae en Colombia se encuentran *Micrathena* con 59 especies, *Mangora* con 37 y *Alpaida* con 34 especies. Esto puede deberse a que estos géneros son algunos de los más diversos dentro de la familia Araneidae (World Spider Catalog, 2023), y que muchas de sus especies son generalistas, pudiéndose encontrar en diversos ecosistemas.

Las especies *Argiope argentata* (Fabricius, 1775), *Mangora melanocephala* (Taczanowski, 1874) y *Micrathena schreibersi* (Perty, 1833), presentan una amplia distribución en Colombia, con registros en las 5 regiones y en 15 de los 32 Departamentos (**Anexo 1**). Es muy probable que también estén presentes en varios otros Departamentos, pero que no hayan sido registradas por falta de muestreos en esas zonas.

La investigación científica en Colombia en el campo de la biodiversidad ha crecido significativamente en las últimas décadas, con muchos estudios y descubrimientos interesantes. Claramente seguir con las investigaciones y estudios permitirá descubrir muchas más especies, lo que puede contribuir significativamente al conocimiento científico y a la conservación de la biodiversidad en el país. Como ejemplo podemos citar lo ocurrido en el Departamento de Sucre que tuvo su primer registro de especies por Tovar-Márquez et al (2021) quienes reportaron 76 especies, incluyendo 43 Araneidae de las cuales 8 y 9 se registraron por primera vez para Colombia y la Región Caribe, respectivamente. Esto demuestra que hay un déficit del conocimiento real de la araneofauna presente en nuestro país.

Es de esperarse que los Departamentos pertenecientes a la región andina como Cundinamarca y Antioquia o Departamentos como Valle del Cauca, Meta, Amazonas y Vaupés, sean los que presenten un mayor número de registros de especies de arañas de la familia Araneidae en comparación con otros Departamentos, ya que es en esas localidades donde se han registrado la mayor cantidad de especies de esta familia (Flórez-D & Sánchez-C, 1995; Gilede-Moncayo & Bello-Silva, 2000; Pinzón & Sabogal, 2010), esto se puede evidenciar gráficamente en la **Figura 2**, siendo los Departamentos de color más oscuro los mencionados anteriormente.

El escaso número de registros de Araneidae en algunos Departamentos puede atribuirse a causas multifactoriales, como la concentración de especialistas e investigadores en ciertas regiones, el conflicto armado en Colombia y la presencia de grupos criminales, que han dificultado el desarrollo de estudios aracnológicos en varias zonas del territorio colombiano, y la poca financiación a la que pueden acceder los científicos colombianos, que si bien ha aumentado en los últimos años sigue siendo poca frente a la necesidad de conocimiento de la biodiversidad del país (Ríos, 2013; Rojas-Granda & Cuesta-Borja, 2021).

Conocer la diversidad de arañas en Colombia es importante por varias razones. En primer lugar, nos ayuda a comprender la complejidad de las redes tróficas y la interacción entre especies en los ecosistemas (Nieto & Trujano, 2017). Además, es importante para brindar datos que pudieran ser considerados en acciones relacionadas con la conservación de la biodiversidad. Del mismo modo, el conocimiento sobre cuáles y cuántas especies existen, así como su distribución geográfica, es fundamental para la conservación de la biodiversidad y la identificación de especies en peligro de extinción, ya que será muy difícil poder conservar las especies si no se conoce su distribución geográfica y la diversidad real que existe en los ecosistemas (López & Sol, 2019).

Conclusión

El número de nuevos registros de arañas de la familia Araneidae en Colombia con respecto al listado anterior aumentó considerablemente (10,68%), a pesar de que en este estudio solo se tuvo en cuenta la información publicada en artículos científicos, por lo que si se tuviera en cuenta los especímenes depositados en colecciones biológicas el número de registros sería mayor.

A partir de esta revisión se logró evidenciar que en muchos Departamentos de Colombia hay un déficit de conocimiento sobre la diversidad de la familia Araneidae, por lo cual podemos afirmar que la investigación de la araneofauna en Colombia es un campo que aún tiene mucho por descubrir y explorar, lo que representa una gran oportunidad para que los aracnólogos realicen nuevas investigaciones y obtengan un mejor inventario de estas especies en nuestro país.

Es importante seguir haciendo investigación sobre la araneofauna presente en el país, principalmente en los Departamentos en los que se tienen pocos o ningún registro de arañas de la familia Araneidae y/o arañas en general, como los Departamentos de Arauca, San Andrés y Providencia, Vichada, La Guajira, Guaviare, Caldas, Quindío, Bolívar, y así poder tener una aproximación real a la diversidad de arañas del país.

Referencias

- Armas, L. F. de, A. Alegre Barroso, R. Barba Díaz, T. M. Rodríguez-Cabrera, G. Alayón García y A. Pérez González. (2017). Arácnidos. Pp. 196-223. En: Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas (C. A. Mancina y D. D. Cruz, Eds.). Editorial AMA, La Habana, 502 pp.
- Bar, M. E. (2010). Clase: Arachnida. Catedra de biología de los Artrópodos.
- Barriga, J. C., & Moreno, A. G. (2013). *Listado de las arañas de Colombia (Arachnida: Araneae)*. Biota Colombiana, 14(3), 21-33.

- Cabra-García, J., & Hormiga, G. (2020). *Exploring the impact of morphology, multiple sequence alignment and choice of optimality criteria in phylogenetic inference: A case study with the Neotropical orb-weaving spider genus Wagneriana (Araneae: Araneidae)*. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 188(4), 976-1151. <https://doi.org/10.1093/zoolinnean/zlz088>
- Coddington, J. A & H. W. Levi. (1991). *Systematics and evolution of spiders (Araneae)*. *Annual review of ecology and systematics* 22: 565-592.
- Escorcía, R., Martínez, N., & Silva, J. (2012). *Estudio de la diversidad de arañas de un bosque seco tropical (BS-T) en Sabanalarga, Atlántico, Colombia*. *Boletín Científico Centro De Museos Museo De Historia Natural*. 16 (1): 247–260
- Fabricius, J. C. (1775). *Systema entomologiae, sistens insectorum classes, ordines, genera, species, adiectis, synonymis, locis descriptionibus observationibus*. Libraria Kortii, Flensbvirgi et Lipsiae [= Kortensche Buchhandlung, Flensburg & Leipzig], 832 pp. (Araneae, pp. 431-441). doi:10.5962/bhl.title.36510
- Flórez E. (1996). *Las arañas del Departamento del Valle del Cauca*. Un manual introductorio a su diversidad y clasificación. INCIVA-Colciencias, Cali.
- Flórez-D, E. & Sánchez-C., H. (1995). *La diversidad de los arácnidos en Colombia, aproximación inicial*. Pp. 327-371. In: Rangel-Ch., J.O. (Ed.). *Colombia Diversidad Biótica I*. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia–Inderena, Bogotá, Colombia. Pp. 1-442.
- Foelix, R.F (2011). *Biology of Spiders*. 3rd ed. Oxford University Press, Oxford.
- Francke, O. F. (2014). *Biodiversidad de Arthropoda (Chelicerata: Arachnida ex Acari) en México*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: S408-S418, 2014. DOI: 10.7550/rmb.31914
- Galvis, W., Flórez, E., & Pinzon. (2018). *New records of the rare orb-weaving spider Rubrepeira rubronigra from Colombia, with notes on its natural history (Araneae: Araneidae)*. *Revista Ibérica de Aracnología*, nº 32: 139–141
- Gilede-Moncayo, O. y Bello-Silva, J. C. 2000. La familia Araneidae (Araneioidea: Orbicularie) en el Departamento del Meta, Colombia. *Biota Colombiana* 1(1): 125-130
- Hahn, C. W. (1822). *Monographie der Spinnen*. Lechner. Nürnberg, Heft 3, pp. 1-2, 4 pls. doi:10.5962/bhl.title.122225
- Hallaj, J. Ross, D.W. Moldenke, A.R. (1998). *Habitat structure and prey availability as predictors of the abundance and community organization of spiders in western Oregon forest canopies*. *The Journal of Arachnology*, 26: 203-220.
- Hopfe, C., Ospina-Jara, B., Scheibel, T., & Cabra-García, J. (2020). *Ocrepeira klamt sp. n. (Araneae: Araneidae), a novel spider species from an Andean páramo in Colombia*. *PLOS ONE*, 15(8), e0237499. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237499>
- Jocqué, R., & A.S. Dippenaar-Schoeman. (2006). *Spider families of the world*. 2nd ed. Museo real de África central, Tervuren.

- Keyserling, E. (1864). *Beschreibungen neuer und wenig bekannter Arten aus der Familie Orbitelae Latr. oder Epeiridae Sund.* Sitzungs-Berichte der naturwissenschaftlichen Gesellschaft Isis in Dresden 1863: 63-98, 119-154, pl. 1-7.
- Keyserling, E. (1865). *Beiträge zur Kenntniss der Orbitelae Latr.* Verhandlungen der Kaiserlich-Königlichen Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien 15: 799-856, pl. 18-21.
- Linnaeus, C. (1767). *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus differentiis, synonymis, locis.* Editio duodecima, reformata. Laurentius Salvius, Holmiae [= Stockholm], 533-1327 (Araneae, pp. 1030-1037).
- Lise, A. A., Kesster, C. C., & Da Silva, E. L. C. (2015). *Revision of the orb-weaving spider genus Verrucosa McCook, 1888 (Araneae, Araneidae).* Zootaxa, 3921(1), 1. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3921.1.1>
- López A, M., & Sol B, M. (2019). *Las especies en peligro de extinción y los mecanismos para la recuperación y conservación de la biodiversidad: Un estudio sobre la viabilidad de los mecanismos y las trabas burocráticas.* LEX, 17(23), 297. <https://doi.org/10.21503/lex.v17i23.1680>
- Martínez M, C., Benavides, L., Escorcia V, O & Franco C, T. (2015). Arácnidos: un Mundo en ocho patas. Boletín de Zoología. ISSN: 2346-1837
- Melic, A., J.A. Barrientos., E. Morano & C. Urones. (2015). *Orden Araneae.* Revista IDE@SEA 11: 1-13.
- Mello-Leitão, C.F. (1941). *Catalogo das aranhas da Colombia.* Anais da Academia Brasileira de Ciências 13: 233-300.
- Nieto-Castañeda I. G. & Trujano-Huerta G. (2017). *La vida en ocho patas ¿quiénes son las arañas?* Elementos 105: 23-28
- Nyffeler, M & K. Birkhofer. (2017). *An estimated 400–800 million tons of prey are annually killed by the global spider community.* The Science of Nature 104: 30
- Peñaloza-Villadiego, A., J. García-Garrido., E. Flórez & A. Sampedro. 2013. Araneofauna De La Reserva Forestal Protectora Serranía De Coraza. Sucre-Colombia. Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA 5:36-47.
- Perty, M. (1833). *Arachnides Brasilienses.* In: de Spix, J. B. & Martius, F. P. (eds.) Delectus animalium articulorum quae in itinere per Braziliam ann. 1817 et 1820 colligerunt. Monachii [= München/Munich], pp. 191-209, pls. 38-39.
- Pinzón, J., L. Benavides y A. Sabogal. 2010. New records of araneid spiders (Araneae: Araneidae) in the Colombian Amazon Region. Zootaxa 2626: 46–60
- Quijano Cuervo, L. G., Martínez-Hernández, N., & Sabogal-González, A. (2017). *Variación temporal de la abundancia y algunos aspectos poblacionales de Micrathena (Araneae: Araneidae) en un Bosque Seco Tropical (BST) del Caribe colombiano.* Ecología Austral, 27(2), 199-209. <https://doi.org/10.25260/EA.17.27.2.0.112>
- Quijano Cuervo, L. G., Rangel Acosta, J., Martínez Hernández, N., & Sabogal Gonzalez, A. (2019). *Estratificación vertical de arañas tejedoras (Araneae) en fragmentos de bosque seco tropical*

- del Caribe colombiano. Revista de Biología Tropical, 67(1). <https://doi.org/10.15517/rbt.v67i1.33168>
- Ríos, A. (2013). La financiación de la investigación en Colombia: Desafíos y posibilidades. XII Congreso “La Investigación en la Pontificia Universidad Javeriana” www.javeriana.edu.co/congresodeinvestigación2013
- Rojas-Granada, C., & Cuesta-Borja, R. (2021). *Los estudios sobre el conflicto armado y la construcción de paz en Colombia desde una perspectiva territorial: Abordajes y desafíos* *. CS, 33, 205-235.
- Ruggiero, M. A., D. P. Gordon, T. M. Orrell, N. Bailly, T. Bourgoïn, R. C. Brusca, *et al.* (2015). Correction: A Higher Level Classification of All Living Organisms. PLoS ONE Vol. 10, No. 6, E0130114.
- Salgado-Roa FC, Pardo-Díaz C, Lasso De Paulis E, Arias CF, Solferini V N , Salazar C. (2018). *Gene Flow and Andean uplift shape the diversification of Gasteracantha cancriformis (Araneae: Araneidae) in Northern South America*. Ecol Evol. 2018;8:7131–7142. <https://doi.org/10.1002/ece3.4237>
- Santos, A. J., Brescovit, A. D., de Oliveira-Tomasi, M., Russo, P., & Oliveira, U. (2017). *Curves, maps and hotspots: the diversity and distribution of araneomorph spiders in the Neotropics*. Behaviour and ecology of spiders: Contributions from the Neotropical region, 1-28.
- Shapiro, L., Binford, G. J., & Agnarsson, I. (2022). *Single-Island Endemism despite Repeated Dispersal in Caribbean Micrathena (Araneae: Araneidae): An Updated Phylogeographic Analysis*. Diversity, 14(2), 128. <https://doi.org/10.3390/d14020128>
- Simon, E. (1895a). *Histoire naturelle des araignées. Deuxième édition, tome premier*. Roret, Paris, pp. 761-1084. [second pdf with detailed publication dates of the single parts] doi:10.5962/bhl.title.51973
- Sundevall, C. J. (1833b). *Conspectus Arachnidum*. C. F. Berling, Londini Gothorum [= Lund], pp. 1-39.
- Taczanowski, L. (1873). *Les aranéides de la Guyane française*. Horae Societatis Entomologicae Rossicae 9: 113-150, 261-286. [pdf includes Taczanowski, 1872]
- Taczanowski, L. (1874). *Les aranéides de la Guyane française*. Horae Societatis Entomologicae Rossicae 10: 56-115, pl. 2
- Tovar-Márquez, J., Torres, R. A., & Alvarez-García, D. M. (2021). *Diversity of orb-weaving spiders (Arachnida: Araneae) from tropical dry forest in Northern Colombia, with eleven new records for the country*. Journal of Natural History, 55(19-20), 1237-1250. <https://doi.org/10.1080/00222933.2021.1943030>
- Turnbull, A. L. (1973). *Ecology of the true spiders (Araneomorphae)*. Annual review of entomology 18: 305-348.
- Villanueva-Bonilla, G. A., García, A. G., Brescovit, A. D., & Vasconcellos-Neto, J. (2017). *Abundance And Richness Of Orb-Web Spiders (Arachnida: Araneae) In A Secondary High-Andean Forest Of Colombia*. Revista Ibérica de Aracnología, nº 30: 53–60.

Vollrath, F. 1992. Spider webs and silks. *Scientific American* 266: 70-77.

World Spider Catalog. (2023). *World Spider Catalog*. Version 24.0. Natural History Museum, Bern. Online at <http://wsc.nmbe.ch>

Anexo 1. Listado actualizado de las especies de arañas de la familia Araneidae en Colombia.

Especies	Departamentos
<i>Acacesia hamata</i> (Hentz, 1847)	(ANT, CUN, MAG, VAC)
<i>Acacesia tenella</i> (L. Koch, 1871)	(AMA, CES, NAR, SUC, VAC, VAU)
<i>Actinosoma pentacanthum</i> (Walckenaer, 1841)	(AMA)
<i>Aculepeira travassosi</i> (Soares & Camargo, 1948)	(SUC)
<i>Alpaida acuta</i> (Keyserling, 1865)	(BOY, MAG, MET, SAN)
<i>Alpaida amambay</i> Levi, 1988	(VAU)
<i>Alpaida anchicaya</i> Levi, 1988	(VAC)
<i>Alpaida banos</i> Levi, 1988	(VAU)
<i>Alpaida bicornuta</i> (Taczanowski, 1878)	(AMA, MET, PUT, VAC, VAU)
<i>Alpaida cali</i> Levi, 1988	(VAC)
<i>Alpaida championi</i> (O. Pickard-Cambridge, 1889)	(NAR)
<i>Alpaida chickeringi</i> Levi, 1988	(NAR)
<i>Alpaida cisneros</i> Levi, 1988	(CAU, VAC)
<i>Alpaida cuyabeno</i> Levi, 1988	(VAU)
<i>Alpaida darlingtoni</i> Levi, 1988	(MAG)
<i>Alpaida delicata</i> (Keyserling, 1892)	(AMA, VAU)
<i>Alpaida eberhardi</i> Levi, 1988	(ANT, VAC)
<i>Alpaida gurupi</i> Levi, 1988	(VAU)
<i>Alpaida kochalkai</i> Levi, 1988	(MAG)
<i>Alpaida leucogramma</i> (White, 1841)	(AMA, ANT, CAU, CUN, MAG, MET, SUC, VAC, VAU)
<i>Alpaida manicata</i> Levi, 1988	(VAU)
<i>Alpaida marta</i> Levi, 1988	(MAG)
<i>Alpaida moata</i> (Chamberlin & Ivie, 1936)	(VAC)
<i>Alpaida muco</i> Levi, 1988	(MET)
<i>Alpaida narino</i> Levi, 1988	(NAR)

La diversidad de la familia Araneidae (*arachnida: araneae*) en Colombia: una actualización del listado de especies

Especies	Departamentos
<i>Alpaida negro</i> Levi, 1988	(AMA)
<i>Alpaida niveosigillata</i> (Mello-Leitão, 1941)	(CAU, CUN, VAC)
<i>Alpaida queremal</i> Levi, 1988	(NAR, VAC)
<i>Alpaida schneblei</i> Levi, 1988	(ANT)
<i>Alpaida septemmammata</i> (O. Pickard-Cambridge, 1889)	(AMA, MAG, SUC, VAC)
<i>Alpaida sevilla</i> Levi, 1988	(AMA, VAC)
<i>Alpaida silencio</i> Levi, 1988	(VAC)
<i>Alpaida tabula</i> (Simon, 1895)	(PUT)
<i>Alpaida trispinosa</i> (Keyserling, 1892)	(ANT, CES, MAG, VAC, VAU)
<i>Alpaida truncata</i> (Keyserling, 1865)	(AMA, CUN, GUA, MET, PUT, SAN, SUC, VAC, VAU)
<i>Alpaida variabilis</i> (Keyserling, 1864)	(CUN)
<i>Alpaida veniliae</i> (Keyserling, 1865)	(AMA, ANT, ATL, BOL, CAQ, CHO, MAG, MET, PUT)
<i>Alpaida yotoco</i> Levi, 1988	(VAC)
<i>Araneus bogotensis</i> (Keyserling, 1864)	(ANT, BOY, CAL, CAU, CES, CUN, HUI, MAG, MET, NAR, PUT, SAN, VAC)
<i>Araneus carimagua</i> Levi, 1991	(MET)
<i>Araneus chingaza</i> Levi, 1991	(CUN)
<i>Araneus detrimentosus</i> (O. Pickard-Cambridge, 1889)	(MAG)
<i>Araneus galero</i> Levi, 1991	(CAQ, SUC)
<i>Araneus granadensis</i> (Keyserling, 1864)	(ANT, CUN, MAG, NAR, SAN, VAC)
<i>Araneus guttatus</i> (Keyserling, 1865)	(AMA, ANT, CAQ, CES, COR, MAG, MET, PUT, SAN, SUC, VAC, VAU)
<i>Araneus horizonte</i> Levi, 1991	(AMA)
<i>Araneus jamundi</i> Levi, 1991	(VAC)
<i>Araneus meropes</i> (Keyserling, 1865)	(ANT, CAQ, MAG, NAR, PUT, SAN, VAC)

Especies	Departamentos
<i>Araneus pegnia</i> (Walckenaer, 1841)	(MAG)
<i>Araneus schneblei</i> Levi, 1991	(ANT)
<i>Araneus sernai</i> Levi, 1991	(ANT, BOY)
<i>Araneus venatrix</i> (C. L. Koch, 1838)	(AMA, CAQ, MET, TOL)
<i>Argiope argentata</i> (Fabricius, 1775)	(AMA, ANT, BOL, BOY, CAU, CUN, HUI, MAG, MET, NAR, PUT, SAN, SUC, VAC, VAU)
<i>Argiope submaronica</i> Strand, 1916	(ANT, CHO, MET, PUT, SAN, SUC, VAC)
<i>Argiope trifasciata</i> (Forsskål, 1775)	(ANT, CUN, VAC)
<i>Aspidolasius branicki</i> (Taczanowski, 1879)	(AMA, CAQ, MET, SAN, VAU)
<i>Bertrana abbreviata</i> (Keyserling, 1879)	(NAR)
<i>Bertrana benuta</i> Levi, 1994	(VAC)
<i>Bertrana planada</i> Levi, 1989	(NAR)
<i>Bertrana striolata</i> Keyserling, 1884	(PUT)
<i>Bertrana vella</i> Levi, 1989	(VAC)
<i>Cyclosa andinas</i> Levi, 1999	(HUI, PUT, VAC)
<i>Cyclosa berlandi</i> Levi, 1999	(CUN, MAG)
<i>Cyclosa bifurcata</i> (Walckenaer, 1841)	(ANT, BOY, CUN, HUI, MAG, PUT, SAN, VAU)
<i>Cyclosa caroli</i> (Hentz, 1850)	(ANT, BOY, CAU, COR, CUN, MAG, MET, NAR, SUC, VAC)
<i>Cyclosa diversa</i> (O. Pickard-Cambridge, 1894)	(CAU, CUN, MAG, MET, NAR, VAC, VAU)
<i>Cyclosa fililineata</i> Hingston, 1932	(AMA, VAU)
<i>Cyclosa huila</i> Levi, 1999	(HUI, NAR, VAC)
<i>Cyclosa inca</i> Levi, 1999	(AMA)
<i>Cyclosa longicauda</i> (Taczanowski, 1878)	(VAC)
<i>Cyclosa mavaca</i> Levi, 1999	(AMA)
<i>Cyclosa mocoa</i> Levi, 1999	(PUT)
<i>Cyclosa nevada</i> Levi, 1999	(MAG)

La diversidad de la familia Araneidae (*arachnida: araneae*) en Colombia: una actualización del listado de especies

Especies	Departamentos
<i>Cyclosa pedropalo</i> Levi, 1999	(CUN, NAR, PUT)
<i>Cyclosa rubronigra</i> Caporiacco, 1947	(CAU, MET, NAR, VAC)
<i>Cyclosa santafe</i> Levi, 1999	(CUN)
<i>Cyclosa tapetifaciens</i> Hingston, 1932	(AMA, ANT, MET, NAR, VAC)
<i>Cyclosa triquetra</i> Simon, 1895	(BOY, COR, CUN, VAC)
<i>Cyclosa vicente</i> Levi, 1999	(VAU)
<i>Cyclosa walckenaeri</i> (O. Pickard-Cambridge, 1889)	(MAG, MET, SUC)
<i>Cyrtophora citricola</i> (Forskål, 1775)	(VAC)
<i>Dubiepeira amacayacu</i> Levi, 1991	(AMA)
<i>Dubiepeira dubitata</i> (Soares & Camargo, 1948)	(AMA, MET, VAU)
<i>Dubiepeira neptunina</i> (Mello-Leitão, 1948)	(SAN, SUC, VAU)
<i>Edricus spiniger</i> O. Pickard-Cambridge, 1890	(CAU, VAC)
<i>Enacrosoma anomalum</i> (Taczanowski, 1873)	(AMA, MET, SUC, VAU)
<i>Enacrosoma multilobatum</i> (Simon, 1897)	(MET)
<i>Encyosaccus sexmaculatus</i> Simon, 1895	(AMA, VAU)
<i>Epeiroides bahiensis</i> Keyserling, 1885	(CAU)
<i>Eriophora edax</i> (Blackwall, 1863)	(CAU, SUC)
<i>Eriophora fuliginea</i> (C. L. Koch, 1838)	(ATL, CUN, MAG, NSA, SUC)
<i>Eriophora nephiloides</i> (O. Pickard-Cambridge, 1889)	(SUC)
<i>Eriophora ravilla</i> (C. L. Koch, 1844)	(VAC)
<i>Eustala conformans</i> Chamberlin, 1925	(SUC)
<i>Eustala fuscovittata</i> (Keyserling, 1864)	(CUN, MET, RIS, SAN, SUC, VAC)
<i>Eustala guttata</i> F. O. Pickard-Cambridge, 1904	(SUC)
<i>Eustala illicita</i> (O. Pickard-Cambridge, 1889)	(SUC)
<i>Eustala taquara</i> (Keyserling, 1892)	(NSA)
<i>Eustala ulecebrosa</i> (Keyserling, 1892)	(CUN)
<i>Eustala vegeta</i> (Keyserling, 1865)	(¿?)
<i>Gasteracantha cancriformis</i> (Linnaeus, 1758)	(AMA, ANT, ATL, CHO, GUA, MET, QUI, SAN, SUC, TOL, VAC, VAU)

Especies	Departamentos
<i>Gea heptagon</i> (Hentz, 1850)	(VAC)
<i>Hingstepeira folisecens</i> (Hingston, 1932)	(AMA)
<i>Hypognatha colosso</i> Levi, 1996	(AMA, VAU)
<i>Hypognatha coyo</i> Levi, 1996	(VAC)
<i>Hypognatha elaborata</i> Chickering, 1953	(NAR)
<i>Hypognatha ica</i> Levi, 1996	(AMA)
<i>Hypognatha mozamba</i> Levi, 1996	(AMA, MET, PUT, VAU)
<i>Hypognatha putumayo</i> Levi, 1996	(PUT)
<i>Hypognatha scutata</i> (Perty, 1833)	(MET)
<i>Kaira sexta</i> (Chamberlin, 1916)	(ANT)
<i>Kaira tulua</i> Levi, 1993	(VAC)
<i>Kapogea cyrtophoroides</i> (F. O. Pickard-Cambridge, 1904)	(MET)
<i>Kapogea isosceles</i> (Mello-Leitão, 1939)	(AMA, CAQ, MET, VAC)
<i>Kapogea sellata</i> (Simon, 1895)	(AMA, MET, PUT)
<i>Larinia directa</i> (Hentz, 1847)	(ANT, CES, CUN, MAG, MET, SUC, VAC)
<i>Mangora acre</i> Levi, 2007	(¿?)
<i>Mangora amacayacu</i> Levi, 2007	(AMA, VAU)
<i>Mangora amchickeringi</i> Levi, 2005	(ATL, MAG)
<i>Mangora apaporis</i> Levi, 2007	(AMA)
<i>Mangora asis</i> Levi, 2007	(PUT)
<i>Mangora ayo</i> Levi, 2007	(AMA, VAU)
<i>Mangora bambusa</i> Levi, 2007	(VAC)
<i>Mangora barba</i> Levi, 2007	(NAR)
<i>Mangora boyaca</i> Levi, 2007	(BOY)
<i>Mangora caparu</i> Levi, 2007	(AMA, VAU)
<i>Mangora dagua</i> Levi, 2007	(VAC)
<i>Mangora dianasilvae</i> Levi, 2007	(AMA)
<i>Mangora eberhardi</i> Levi, 2007	(VAC)
<i>Mangora falconae</i> Schenkel, 1953	(ATL, MAG, SAN, SUC)
<i>Mangora fornicata</i> (Keyserling, 1864)	(CUN, SAN)
<i>Mangora insperata</i> Soares & Camargo, 1948	(VAU)

La diversidad de la familia Araneidae (*arachnida: araneae*) en Colombia: una actualización del listado de especies

Especies	Departamentos
<i>Mangora kochalkai</i> Levi, 2007	(MAG)
<i>Mangora latica</i> Levi, 2007	(CUN, HUI)
<i>Mangora leticia</i> Levi, 2007	(AMA)
<i>Mangora matamata</i> Levi, 2007	(AMA)
<i>Mangora mathani</i> Simon, 1895	(AMA, GUA, VAU)
<i>Mangora melanocephala</i> (Taczanowski, 1874)	(AMA, ANT, CAU, CHO, CUN, HUI, MAG, MET, NAR, PUT, RIS, SAN, SUC, VAC, VAU)
<i>Mangora mitu</i> Levi, 2007	(VAU)
<i>Mangora novempupillata</i> Mello-Leitão, 1940	(MET, PUT)
<i>Mangora pepino</i> Levi, 2007	(PUT)
<i>Mangora pia</i> Chamberlin & Ivie, 1936	(BOL, SUC, VAC)
<i>Mangora pira</i> Levi, 2007	(AMA)
<i>Mangora semiatra</i> Levi, 2007	(NAR)
<i>Mangora socorpa</i> Levi, 2007	(CES)
<i>Mangora sturmi</i> Levi, 2007	(AMA)
<i>Mangora taraira</i> Levi, 2007	(VAU)
<i>Mangora tefe</i> Levi, 2007	(AMA, MET, VAU)
<i>Mangora unam</i> Levi, 2007	(VAU)
<i>Mangora uraricoera</i> Levi, 2007	(AMA, PUT, VAU)
<i>Mangora vaupes</i> Levi, 2007	(VAU)
<i>Mangora villeta</i> Levi, 2007	(CUN)
<i>Mangora zepol</i> Levi, 2007	(MET)
<i>Manogea gaira</i> Levi, 1997	(MAG)
<i>Manogea porracea</i> (C. L. Koch, 1838)	(AMA, ANT, MET, VAU)
<i>Mastophora dizzydeani</i> Eberhard, 1981	(VAC)
<i>Mecynogea infelix</i> (Soares & Camargo, 1948)	(MET)
<i>Metazygia benella</i> Levi, 1995	(VAC)
<i>Metazygia carimagua</i> Levi, 1995	(MET)
<i>Metazygia chenevo</i> Levi, 1995	(MET)
<i>Metazygia corima</i> Levi, 1995	(MET)

Especies	Departamentos
<i>Metazygia dubia</i> (Keyserling, 1864)	(ANT, ATL, CUN, HUI, MAG)
<i>Metazygia enabla</i> Levi, 1995	(VAU)
<i>Metazygia gregalis</i> (O. Pickard-Cambridge, 1889)	(MAG, MET, SAN, VAC)
<i>Metazygia keyserlingi</i> Banks, 1929	(NAR, VAC)
<i>Metazygia laticeps</i> (O. Pickard-Cambridge, 1889)	(SAN, SUC)
<i>Metazygia lazepa</i> Levi, 1995	(MET)
<i>Metazygia lopez</i> Levi, 1995	(MET)
<i>Metazygia octama</i> Levi, 1995	(VAC)
<i>Metazygia pallidula</i> (Keyserling, 1864)	(ANT, CES, COR, CUN, LAG, MAG, MET, NAR SUC, VAC)
<i>Metazygia peckorum</i> Levi, 1995	(VAC)
<i>Metazygia rothi</i> Levi, 1995	(MET)
<i>Metazygia sendero</i> Levi, 1995	(AMA)
<i>Metazygia tapa</i> Levi, 1995	(VAU)
<i>Metazygia uma</i> Levi, 1995	(VAU)
<i>Metazygia uraricoera</i> Levi, 1995	(MET, VAU)
<i>Metazygia vaupes</i> Levi, 1995	(VAU)
<i>Metazygia voluptifica</i> (Keyserling, 1892)	(MET)
<i>Metazygia yobena</i> Levi, 1995	(AMA, MET, VAU)
<i>Metazygia yucumo</i> Levi, 1995	(VAU)
<i>Metepeira compsa</i> (Chamberlin, 1916)	(MAG)
<i>Metepeira glomerabilis</i> (Keyserling, 1892)	(CUN)
<i>Metepeira roraima</i> Piel, 2001	(VAC)
<i>Micrathena abrahami</i> (Mello-Leitão, 1948)	(MAG, MET)
<i>Micrathena acuta</i> (Walckenaer, 1841)	(AMA, GUA, MET, NSA, PUT, VAU)
<i>Micrathena anchicaya</i> Levi, 1985	(ANT, CAU, CHO, NAR, RIS, VAC)
<i>Micrathena annulata</i> Reimoser, 1917	(AMA, VAU)
<i>Micrathena armigera</i> (C.L. Koch, 1837)	(MET, VAU)
<i>Micrathena atuncela</i> Levi, 1985	(MET, VAC)

La diversidad de la familia Araneidae (*arachnida: araneae*) en Colombia: una actualización del listado de especies

Especies	Departamentos
<i>Micrathena aureola</i> (C. L. Koch, 1836)	(GUA)
<i>Micrathena bicolor</i> (Keyserling, 1864)	(CAU, CUN)
<i>Micrathena bogota</i> Levi, 1985	(CUN)
<i>Micrathena brevispina</i> (Keyserling, 1864)	(CUN, MET, TOL, VAC, VAU)
<i>Micrathena carimagua</i> (Levi, 1985)	(MAG, MET)
<i>Micrathena clypeata</i> (Walckenaer, 1805)	(AMA, ANT, ATL, CAQ, CHO, GUA, MET, NAR, NSA, PUT, VAC, VAU)
<i>Micrathena coca</i> Levi, 1985	(AMA, CAQ)
<i>Micrathena cornuta</i> (Taczanowski, 1873)	(PUT)
<i>Micrathena crassa</i> (Keyserling, 1864)	(ANT, BOY, CUN, HUI, NSA, RIS, TOL, VAC)
<i>Micrathena cyanospina</i> (Lucas, 1835)	(AMA, BOY, GUA, MET, VAU)
<i>Micrathena decorata</i> Chickering, 1960	(BOY, CES, CUN, MAG, QUI, RIS)
<i>Micrathena donaldi</i> Chickering, 1961	(VAC)
<i>Micrathena duodecimspinosa</i> (O. Pickard-Cambridge, 1890)	(MET, NAR)
<i>Micrathena elongata</i> (Keyserling, 1864)	(CUN, QUI)
<i>Micrathena embira</i> Levi, 1985	(VAU)
<i>Micrathena evansi</i> Chickering, 1960	(CUN, NSA)
<i>Micrathena excavata</i> (C.L. Koch, 1836)	(CAQ, MET)
<i>Micrathena exlinae</i> Levi, 1985	(AMA, NSA)
<i>Micrathena fidelis</i> (Banks, 1909)	(MAG, VAC)
<i>Micrathena flaveola</i> (Perty, 1839)	(AMA, CAQ, MET, NAR, NSA, SAN, VAU)
<i>Micrathena furcula</i> (O. Pickard-Cambridge, 1890)	(VAC)
<i>Micrathena gaujoni</i> Simon, 1897	(PUT)
<i>Micrathena glyptogonoides</i> Levi, 1985	(MET)
<i>Micrathena guerini</i> (Keyserling, 1864)	(CUN, QUI, RIS, VAC)
<i>Micrathena horrida</i> (Taczanowski, 1873)	(AMA, ATL, CAQ, MAG, MET, NAR, SAN, SUC, TOL, VAC)

Especies	Departamentos
<i>Micrathena huanuco</i> Levi, 1985	(AMA)
<i>Micrathena jundiai</i> Levi, 1985	(MET)
<i>Micrathena kirbyi</i> (Perty, 1833)	(AMA, CAQ, GUA, MET, VAU)
<i>Micrathena kochalkai</i> Levi, 1985	(CUN, MAG, NSA)
<i>Micrathena lepidoptera</i> Mello-Leitão, 1941	(ATL, BOY, MAG, SAN, TOL)
<i>Micrathena lucasi</i> (Keyserling, 1864)	(ANT, BOY, CAL, CAU, CES, CUN, HUI, MAG, MET, NAR, NSA, QUI, VAC)
<i>Micrathena macfarlanei</i> Chickering, 1961	(MET)
<i>Micrathena marta</i> Levi, 1985	(MAG)
<i>Micrathena miles</i> Simon, 1895	(CAQ)
<i>Micrathena mitrata</i> (Hentz, 1850)	(CAU, MET)
<i>Micrathena necopinata</i> Chickering, 1960	(AMA)
<i>Micrathena pilaton</i> Levi, 1985	(CAU, CUN, NAR, NSA, QUI, RIS, VAC)
<i>Micrathena plana</i> (C. L. Koch, 1836)	(AMA, CAQ, CAU, CHO, HUI, MET, VAC, VAU)
<i>Micrathena pungens</i> (Walckenaer, 1841)	(AMA, BOY, CAQ, CUN, GUA, MET, SAN)
<i>Micrathena pupa</i> Simon, 1897	(CUN)
<i>Micrathena quadriserrata</i> F.O. Pickard-Cambridge, 1904	(ATL, SUC)
<i>Micrathena rubicundula</i> (Keyserling, 1864)	(CUN)
<i>Micrathena saccata</i> (C. L. Koch, 1836)	(AMA, MAG, MET, SUC, VAC, VAU)
<i>Micrathena sagittata</i> (Walckenaer, 1841)	(MET)
<i>Micrathena schenkeli</i> Mello-Leitão, 1939	(MET)
<i>Micrathena schreibersi</i> (Perty, 1833)	(ANT, ATL, BOL, BOY, CAL, CHO, COR, CUN, MET, PUT, RIS, SAN, SUC, TOL, VAC)

La diversidad de la familia Araneidae (*arachnida: araneae*) en Colombia: una actualización del listado de especies

Especies	Departamentos
<i>Micrathena sexspinosa</i> (Hahn, 1822)	(ANT, ATL, BOY, CAL, CAS, CES, CHO, CUN, MAG, MET, SAN, SUC, TOL, VAC)
<i>Micrathena spinosa</i> (Linnaeus, 1758)	(MET)
<i>Micrathena stuebeli</i> (Karsch, 1887)	(CAQ, CAU, CUN, NAR, NSA)
<i>Micrathena triangularis</i> (C. L. Koch, 1836)	(ANT, CAQ, CUN, MET, NAR, NSA, RIS, SAN, TOL)
<i>Micrathena triangularispinosa</i> (De Geer, 1778)	(AMA, MET, VAU)
<i>Micrathena vigorsi</i> (Perty, 1833)	(AMA, BOY, CAQ, MET, VAC, VAU)
<i>Micrathena woytkowskii</i> (Levi, 1985)	(AMA, MET, VAU)
<i>Micrepeira fowleri</i> Levi, 1995	(AMA, VAU)
<i>Micrepeira hoeferi</i> Levi, 1995	(SUC)
<i>Micrepeira tubulofaciens</i> (Hingston, 1932)	(AMA, VAU)
<i>Neoscona moreli</i> (Vinson, 1863)	(MET, VAC)
<i>Neoscona nautica</i> (L. Koch, 1875)	(AMA, ANT, CES, CHO, CUN, LAG, NAR, VAC)
<i>Neoscona oaxacensis</i> (Keyserling, 1864)	(ANT, ATL, CES, MAG, VAC)
<i>Ocrepeira anta</i> Levi, 1993	(ANT)
<i>Ocrepeira atuncela</i> Levi, 1993	(VAC)
<i>Ocrepeira covillei</i> Levi, 1993	(AMA, BOY, GUA, MET, VAU)
<i>Ocrepeira gulielmi</i> Levi, 1993	(NAR)
<i>Ocrepeira herrera</i> Levi, 1993	(VAU)
<i>Ocrepeira ituango</i> Levi, 1993	(ANT)
<i>Ocrepeira klamt</i> Hopfe, Ospina-Jara, Scheibel & Cabra-García, 2020	(VAC)
<i>Ocrepeira lapeza</i> Levi, 1993	(MET)
<i>Ocrepeira magdalena</i> Levi, 1993	(MAG)
<i>Ocrepeira maraca</i> Levi, 1993	(CES)
<i>Ocrepeira planada</i> Levi, 1993	(CUN, NAR, VAC)

Especies	Departamentos
<i>Ocrepeira redondo</i> Levi, 1993	(CUN, MAG)
<i>Ocrepeira saladito</i> Levi, 1993	(VAC)
<i>Ocrepeira tinajillas</i> Levi, 1993	(VAC)
<i>Ocrepeira tumida</i> (Keyserling, 1865)	(¿?)
<i>Ocrepeira valderramai</i> Levi, 1993	(CUN)
<i>Ocrepeira verecunda</i> (Keyserling, 1865)	(¿?)
<i>Ocrepeira viejo</i> Levi, 1993	(NAR, SAN)
<i>Parawixia audax</i> (Blackwall, 1863)	(MET)
<i>Parawixia barbaças</i> Levi, 1992	(NAR, VAC)
<i>Parawixia carimagua</i> (Levi, 1991)	(MET)
<i>Parawixia casa</i> Levi, 1992	(VAC)
<i>Parawixia hypocrita</i> (O. Pickard-Cambridge, 1889)	(NAR, SUC)
<i>Parawixia kochi</i> (Taczanowski, 1873)	(AMA, BOY, CAQ, GUA, MET, VAU)
<i>Parawixia matiapa</i> Levi, 1992	(MAG)
<i>Parawixia nesophila</i> Chamberlin & Ivie, 1936	(MET)
<i>Parawixia rimosa</i> (Keyserling, 1892)	(ANT, CAU, CUN, HUI, MAG, NAR, VAC)
<i>Parawixia velutina</i> (Taczanowski, 1878)	(MET)
<i>Pronous intus</i> Levi, 1995	(ANT, BOL, CES, MET, VAC)
<i>Pronous pance</i> Levi, 1995	(CAU, VAC)
<i>Pronous tuberculifer</i> Keyserling, 1881	(PUT)
<i>Pronous valle</i> Levi, 1995	(VAC)
<i>Pronous wixoides</i> (Chamberlin & Ivie, 1936)	(MAG, MET, NAR, VAC)
<i>Rubrepeira rubronigra</i> (Mello-Leitão, 1939)	(CAU, PUT, VID)
<i>Scoloderus cordatus</i> (Taczanowski, 1879)	(PUT, VAC)
<i>Scoloderus tuberculifer</i> (O. Pickard-Cambridge, 1889)	(VAC)
<i>Spilasma duodecimguttata</i> (Keyserling, 1879)	(AMA, MET, PUT, SAN, SUC, VAC, VAU)
<i>Taczanowskia sextuberculata</i> Keyserling, 1892	(MET)
<i>Tatepeira carrolli</i> Levi, 1995	(MET)
<i>Tatepeira tatarendensis</i> (Tullgren, 1905)	(CES, MAG)

La diversidad de la familia Araneidae (*arachnida: araneae*) en Colombia: una actualización del listado de especies

Especies	Departamentos
<i>Testudinaria quadripunctata</i> Taczanowski, 1879	(SUC)
<i>Trichonephila clavipes</i> (Linnaeus, 1767)	(ATL, SUC, VAC)
<i>Verrucosa avilesae</i> Lise, Kesster & Silva, 2015	(PUT)
<i>Verrucosa benavidesae</i> Lise, Kesster & Silva, 2015	(BOY, CAQ, VAU)
<i>Verrucosa excavata</i> Lise, Kesster & Silva, 2015	(MET)
<i>Verrucosa florezi</i> Lise, Kesster & Silva, 2015	(QUI, RIS)
<i>Verrucosa macarena</i> Lise, Kesster & Silva, 2015	(MET)
<i>Verrucosa meta</i> Lise, Kesster & Silva, 2015	(MET)
<i>Verrucosa opon</i> Lise, Kesster & Silva, 2015	(SAN)
<i>Verrucosa pedrera</i> Lise, Kesster & Silva, 2015	(AMA)
<i>Verrucosa reticulata</i> (O. Pickard-Cambridge, 1889)	(SUC)
<i>Verrucosa silvae</i> Lise, Kesster & Silva, 2015	(CAQ)
<i>Verrucosa suaita</i> Lise, Kesster & Silva, 2015	(SAN)
<i>Verrucosa tarapoa</i> Lise, Kesster & Silva, 2015	(MET)
<i>Verrucosa tuberculata</i> Lise, Kesster & Silva, 2015	(SUC, VAC)
<i>Verrucosa undecimvariolata</i> (O. Pickard-Cambridge, 1889)	(CUN, MET, RIS, SUC, VAC)
<i>Wagneriana acrosomoides</i> (Mello-Leitão, 1939)	(GUV, MET)
<i>Wagneriana atuna</i> Levi, 1991	(CAS, VAC)
<i>Wagneriana cobella</i> Levi, 1991	(MAG, NSA)
<i>Wagneriana hassleri</i> Levi, 1991	(GUV)
<i>Wagneriana jacaza</i> Levi, 1991	(AMA, VAU)
<i>Wagneriana jelskii</i> (Taczanowski, 1873)	(VAU)
<i>Wagneriana maseta</i> Levi, 1991	(AMA, CAQ, CAS, GUV, MET, VAU)
<i>Wagneriana taboga</i> Levi, 1991	(ATL, BOL, CES, CUN, MAG, SUC)
<i>Wagneriana tauricornis</i> (O. Pickard-Cambridge, 1889)	(ANT, CUN, MAG, SUC, VAC)
<i>Wagneriana tayos</i> Levi, 1991	(AMA, ANT, MET, VAU)
<i>Wagneriana transitoria</i> (C. L. Koch, 1839)	(AMA, CAQ, CUN)

Especies	Departamentos
<i>Wagneriana undecimtuberculata</i> (Keyserling, 1865)	(AMA, ANT, ATL, BOL, CAQ, CHO, CUN, MET, PUT, SAN, SUC, VAC, VAU)
<i>Witica cayanus</i> (Taczanowski, 1873)	(MAG, MET)
<i>Witica crassicauda</i> (Keyserling, 1865)	(ANT, CAU, MET, VAC)
<i>Xylethrus scrupeus</i> Simon, 1895	(MET, VAU)
<i>Xylethrus superbis</i> Simon, 1895	(AMA, MET, VAU)
<i>Zygiella x-notata</i> (Clerck, 1757)	(CUN)

Nota. Se desconoce la localidad específica dentro de Colombia de 4 especies.

Perspectivas agroindustriales de las variedades de yuca cultivadas en el departamento de Sucre: una revisión

Agroindustrial Perspectives of Yucca Varieties Cultivated in the Department of Sucre: a Review

Yoseth David Blanquiceth Támara¹, Juan José Hoyos Sebá²,
José David Arias Teherán³, María José Tavera Quiroz⁴

Resumen

La Yuca es actualmente una fuente de energía alimentaria gracias a su aporte calórico. Esta raíz tuberosa forma parte de los sistemas agrícolas tradicionales de los países en desarrollo, contribuyendo a la seguridad alimentaria y generando ingresos. Este trabajo tiene como objetivo realizar una revisión científica con información indexada en revistas y bases de datos donde se presenta una perspectiva inmediata sobre variedades de Yuca que se cultivan en el Departamento de Sucre, mostrando las cifras estadísticas relacionadas con el cultivo de estas. Además, se destaca el uso potencial de este cultivo para la alimentación animal y la importancia que tienen los residuos de cosecha y la biomasa de alto valor energético disponible en las raíces y el follaje de la planta de Yuca, y que pueden aprovecharse para mejorar la producción de leche en rumiantes, engorde de corderos, el rendimiento en postura e incubabilidad de huevos en aves de corral; así como la mejora de la

1 Biólogo, Universidad de Sucre. Joven investigador del Grupo DESINPA de la Universidad de Sucre, Correo electrónico: yoseth.blanquiceth@unisucrevirtual.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7419-3496>

2 Candidato de maestría en ingeniería con énfasis en investigación, enfocada hacia el aprovechamiento de residuos. Ingeniero agroindustrial, Universidad de Sucre. Correo electrónico: juan.hoyos@unisucrevirtual.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8602-2160>

3 Candidato de maestría en ingeniería con énfasis en investigación, enfocada hacia el aprovechamiento de residuos. Ingeniero agroindustrial, Universidad de Sucre. Correo electrónico: jose.arias@unisucru.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3252-3116>

4 Doctora en Ingeniería, Msc. En Higiene y Tecnología de Alimentos, Ingeniero Agroindustrial. Docente investigadora del programa Ingeniería Agroindustrial de la facultad de ingeniería de la Universidad de Sucre. Correo electrónico: maria.tavera@unisucru.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9238-5865>

calidad de la carne en especies menores. También, se centran en explicar algunas particularidades del cultivo de Yuca en Sucre y resaltar el papel de las variedades de Yuca como la venezolana (MCol 2215), la Chiroso (MCol 2066), como fuente de alimento para vacas, cerdos, pollos y humanos, y el desaprovechado uso de la parte aérea de las variedades de Yuca en actividades de valor agregado en la agroindustria.

Palabras clave: alimentación animal, residuos, biomasa, hoja de Yuca, variedades de Yuca, agroindustria.

Abstract

Yuca is currently a source of food energy thanks to its caloric intake. This tuberous root is part of the traditional agricultural systems of developing countries, contributing to food security and generating income. The objective of this work is to carry out a scientific review with information indexed in magazines and databases where an immediate perspective on Yucca varieties that are cultivated in the Department of Sucre is presented, showing the statistical figures related to their cultivation. In addition, the potential use of this crop for animal feed and the importance of harvest residues and the biomass of high energy value available in the roots and foliage of the Yucca plant are highlighted, which can be used to improve the milk production in ruminants, lamb fattening, laying performance and hatchability of eggs in poultry, as well as the improvement of meat quality in minor species. They also focus on explaining some particularities of Yucca cultivation in Sucre and highlighting the role of Yucca varieties such as the Venezuelan (MCol 2215), the Chiroso (MCol 2066), as a source of food for cows, pigs, chickens and humans and the wasted use of the aerial part of the Yucca varieties in value-added activities in agro-industrial.

Keywords: animal feed, residues, biomass, cassava leaf, cassava varieties, agroindustry.

Introducción

La Yuca (*Manihot esculenta* Crantz), es un cultivo promisorio nativo de tierras bajas del neotrópico, de gran importancia en la ruta de desarrollo de la bioeconomía sostenible de muchos países africanos, asiáticos y americanos, siendo el cuarto producto básico (después del arroz, el trigo y el maíz) más importante de la dieta de más de 1000 millones de personas a nivel mundial (DANE, 2016; Guevara & Plaza, 2022). El cultivo de Yuca hace parte de los sistemas agrícolas tradicionales prometedores para garantizar la seguridad alimentaria y de generación de ingresos de alrededor de 105 países en vía de desarrollo, y ha sido culturalmente reconocida como una planta de aprovechamiento integral para el

consumo humano, empleada como verdura fresca (Latif & Müller, 2014; 2015). De este cultivo se utilizan las raíces y hojas como las principales fuentes de alimento, tanto para el consumo humano como para nutrición de animales, debido a sus elevados contenidos de hidratos de carbono, altos niveles proteínas, minerales y vitaminas (Oladunmoye *et al.* 2014; DANE, 2016; Guevara & Plaza, 2022). En la actualidad, también se utilizan como materia prima en los procesos de biorrefinerías para la obtención de energías renovables a partir de residuos agrícolas (cáscara, bagazo y el tallo) (Alcázar-Alay and Meireles 2015; Gao *et al.* 2020).

Las harinas que se derivan de la planta de Yuca son productos alimentarios que aportan nutrimentos importantes para la alimentación humana y animal. Estas son utilizadas en una amplia gama de productos de alto valor agregado como lo son: cárnicos, panes, tortas, helados, pastas y concentrados ricos en almidón. Gracias a este último componente del tubérculo y a sus propiedades tecnofuncionales de granulación, estabilidad térmica y capacidad de gelificación, se puede utilizar el almidón como coadyuvante de emulsificantes, espesante y agente texturizante. Las harinas de Yuca han tenido una buena recepción en la industria alimentaria y en los mercados de alimentos libres de gluten, cuya demanda se encuentra alrededor de los 5.600.000 de dólares anuales, y se han convertido en la segunda fuente más importante de almidón en el mundo, después del maíz, llegando a reemplazar las harinas de papa y trigo (Oladunmoye *et al.* 2014; Ingredion 2019).

En Colombia, en los últimos años, los cultivos de Yuca han alcanzado cifras significativas de producción en comparación con cultivos como la caña de azúcar, palma de aceite, naranja y zanahoria, los cuales han sido preponderantes en la bioeconomía nacional entre 2019-2021 (Agronet, 2023). El cultivo de Yuca para el año 2020, según Rivera *et al.* (2021) alcanzó una producción anual de 2.413.051 toneladas de Yuca fresca, de las cuales el 94% de la producción fue destinada para el consumo humano directo de más de 49.661.000 pobladores urbanos y rurales, y el 6% restante se destinó para procesos industriales (Parra, 2020, Canales & Trujillo, 2021; Rivera *et al.* 2021), donde se destacan la producción de almidones, harinas, alcohol carburante, pinturas y suplementos para la dieta de animales de fincas debido a su alto valor energético (1.460 cal/kg) (Rivero *et al.*, 2015; MADR, 2020).

De dichos cultivos se estima que el rendimiento total de ingresos por producción anual de Yuca en Colombia oscila alrededor de 43.971.795 a 217.000.000 de dólares (Canales & Trujillo, 2021; FAO, 2023). Esta planta se cultiva en las cinco regiones de Colombia, destacándose la Región Caribe, específicamente los departamentos de Bolívar, Córdoba, Sucre, Magdalena, Atlántico, Cesar y La Guajira, en donde se siembran alrededor de 148.124 hectáreas de Yuca anuales y se alcanza una producción de Yuca

fresca de 1.474.106 toneladas empleadas para el consumo humano, uso industrial y la alimentación animal. Estas cifras reportadas por el Ministerio de Agricultura (MADR, 2020), concuerdan con los más altos volúmenes de producción total de Yuca en Colombia. A nivel nacional, Sucre es considerado como el departamento de la Región Caribe con mayor producción de Yuca industrial, alcanzando aproximadamente las 241.975 toneladas anuales (MADR, 2020), que son empleadas para el consumo humano, animal y, sobre todo, para el sector industrial de producción de almidones (Aguilera-Díaz, 2012; MADR, 2020).

Con este trabajo, se busca dar a conocer una perspectiva inmediata sobre las cifras actuales de producción de Yuca en Colombia y el Departamento de Sucre, establecer las variedades de Yuca que se cultivan en este Departamento, sus características y usos potenciales. Simultáneamente, resaltar la importancia que tiene este cultivo para la alimentación animal y establecer una relación con el desaprovechamiento como alternativa alimentaria que tienen las variedades forrajeras en Sucre.

Metodología

Para realizar la revisión bibliográfica sistemática, se utilizó información de estudios científicos publicados en idioma español e inglés, sin restricción en el horizonte temporal, dado que se busca documentar el conocimiento general y actual sobre el cultivo de Yuca (*Manihot esculenta* Crantz), las variedades de esta especie liberadas para la Región Caribe y el Departamento de Sucre, Colombia, y las características de interés agroindustrial de estos cultivos. Se consultaron, además, cifras estadísticas de producción por toneladas y áreas cultivadas de Yuca en Colombia, información global y local sobre el estado de conocimiento de las aplicaciones del cultivo de Yuca, uso de los residuos en la alimentación animal y en procesos industriales. Se utilizó información de artículos científicos, tesis, libros y documentos de trabajos publicados en buscadores y bases de datos como Google, Google Scholar, Springer Link, Scielo, Scopus, redalyc.org, Dialnet, Agris, Doab; como fuentes de datos que contienen artículos de revistas de alimentación y nutrición animal, agricultura, gestión y sostenibilidad ambiental, manejo y tecnología postcosecha, manejo de sistemas productivos, sistemas de información zonificación y georreferenciación, transformación y agroindustria y variedad de reportes sobre los cultivos de *Manihot esculenta* en muchos países de América, África y Asia.

Para realizar la búsqueda adecuada de la información se implementaron términos y combinaciones, tanto en español como en inglés, de palabras claves junto con conectores boléanos. Las opciones de búsqueda fueron: “Yuca”, “alimentación animal”, “variedades”, “uso industrial”, “Sucre”, “evaluación agropecuaria”, “rendimiento de cosecha”, “características fisicoquímicas” y los nombres de las variedades o clones de Yuca que

predominan en Colombia y la Región Caribe. Una vez revisada y estudiada la información consultada, cada uno de los documentos leídos y seleccionados, se organizaron en una base de datos teniendo en cuenta el título del trabajo, autoría, año de publicación, enfoque de trabajo, base de datos donde se publicó (revista científica, libro y repositorio universitario) y tipología de estudio (artículo científico, revisión sistemática, tesis de pregrado o postgrado, y otros) y finalmente se eliminaron los estudios duplicados. Por otro lado, se obtuvo información directa de la Secretaría de Desarrollo Económico y Agroindustrial de la Gobernación de Sucre. Se utilizaron 62 referencias bibliográficas a lo largo de toda esta revisión, de los cuales 31 fueron artículos científicos, 15 capítulos de libros, 6 tesis de pregrado, 5 páginas web y 5 boletines de Corpoica y Agrosavia que equivalen al 60% de la información sobre variedades de Yuca sembradas en Sucre y sus propiedades.

Resultados y discusión

Potencialidades y limitación de los cultivos de yuca para la alimentación animal

Teóricamente la Yuca (*Manihot esculenta*, Crantz) está compuesta por un 45% de raíces, 35% de tallo y un 20% de follaje el cual posee en concepto 25% de peciolo, 30% de tallo tiernos y un 45% de hoja (Ravindran, 1993; Suárez Paternina *et al.* 2022). Estas últimas contienen alrededor de 21% de contenido proteico, lo cual se traduce en aproximadamente 210 g de proteína cruda. Este valor puede disminuir o aumentar a más de 300 g dependiendo del manejo agrícola, los nutrientes del suelo, disponibilidad de luz, estado de madurez, condiciones agroclimáticas entre otros aspectos que influyen en el desarrollo de los cultivos (Fernández *et al.* 2020; Guevara & Plaza, 2022).

El sector agroindustrial de muchos países del mundo como Nigeria, Tailandia, Indonesia, Brasil y Colombia se han enfocado en la valorización de residuos agrícolas de Yuca, especialmente la hoja, para su aprovechamiento como potencial industrial en alimentación (Fernández *et al.* 2020; Guevara & Plaza, 2022). La hoja de Yuca constituye una fuente rica en proteínas. En diferentes trabajos de investigación se han evaluado los rendimientos de materia seca de la hoja de Yuca en distintos meses de cosecha y después de la siembra, donde se han evaluado las propiedades fisicoquímicas de las hojas en sus diferentes etapas de desarrollo fisiológico de la planta y determinar el tiempo adecuado para el aprovechamientos de la hoja para alimentar animales de corral (Ravindran & Ravindran, 1988; Ravindran, 1993; Hué *et al.* 2012; Vieira *et al.* 2015; Fernández *et al.* 2016; Salles *et al.* 2016; Fernández *et al.* 2020). Estos autores han determinado que los diversos clones de Yuca en diferentes regiones del mundo presentan divergencia en los grados de tolerancia a la defoliación y el rendimiento del contenido proteico de la materia

seca del forraje, que tiende a ser menor cuando el forraje se obtiene como subproducto de la cosecha de las raíces. Esto, debido a que luego de los 120 días después de la siembra, las hojas empiezan a experimentar un estado de senescencia que conlleva al deterioro estructural de las láminas foliares (Hué *et al.* 2012). Del mismo modo, estos investigadores reportan en sus trabajos que conforme avanza la edad fisiológica de la planta de Yuca, en la parte aérea (láminas foliares) aumentan los porcentajes de compuestos orgánicos de baja digestibilidad (celulosa, hemicelulosa y lignina) y se reducen los porcentajes de carbohidratos, minerales solubles, vitaminas y proteínas que son de nutrientes potencialmente digeribles por los animales y el hombre (Van Soest, 1994; Guevara & Plaza, 2022).

Asimismo, estudios como el de Buitrago (1990), Giraldo *et al.* (2006), Aristizábal *et al.* (2007) y Suárez Paternina *et al.* (2022), establecen que los cultivos de Yuca por sus características de adaptabilidad geográfica y la gran cantidad de biomasa de alto valor energético disponible en las raíces, han sido empleados por muchos años para la alimentación animal. Estas raíces son ricas en carbohidratos y aportan una ganancia de calorías (12-34 Mcal/kg) por medio de la ingesta de la pulpa, la cual es suministrada en forma de alimento fresco, hojuelas secas, en forma granulada o paletizada, y además puede ser procesada para la elaboración de harinas, que suplementan los concentrados para aves, porcinos, caprinos y rumiantes (DANE, 2016).

Igualmente, los residuos de cosecha de los cultivos de Yuca como el bagazo, la cáscara y la mancha se han destinado a la alimentación animal por su alto contenido de proteína (13,3 y 26,0 g/kg) (Giraldo *et al.* 2006; Canales & Trujillo, 2021), almidón, grasa, fibra, azufre, carotenos, calcio, fósforo y aminoácidos como la metionina y lisina que son importantes para la producción de leche en rumiantes (Prachumchai *et al.* 2022; Winarti *et al.* 2022), engorde de corderos (Odile *et al.* 2022; Silva *et al.* 2022) y mejoramiento del rendimiento en la postura e incubabilidad de huevos en patos y gallinas (Sumiati *et al.* 2020; Villaver *et al.* 2022), al igual que el mejoramiento de la calidad de la carne de gansos (Li *et al.* 2020) y peces (Mulyasari *et al.* 2021).

Dichas características nutricionales de la planta de Yuca se han tenido en cuenta por expertos en la línea de nutrición, tanto animal como humana, para la creación de una amplia diversidad de suplementos alimenticios a base harinas de hojas de Yuca, las cuales —según sus perfiles proteicos y vitamínicos— han reemplazado el uso de harina de trigo en alimentos tradicionales. Investigadores como Ambarsari *et al.* (2018), evaluaron el efecto que tiene la sustitución de harinas de trigo en las características de un aperitivo a base de hoja de Yuca, preparado con diversos niveles de sustitución de harinas de trigo en rangos de 15, 30 y 45%. En este estudio se logró determinar que, con un grado de sustitución del 45% con hoja de Yuca verde, se obtienen aperitivos con bajo contenido

de lípidos, alto contenido proteico y con buenas propiedades organolépticas, adecuadas para reemplazar las harinas de trigo y maíz tradicionales y tener un producto comercial de hoja de Yuca con valor agregado.

Del mismo modo, investigadores como Winarti *et al.* (2022), han explorado dentro de la industria alimentaria de peletizados una estrategia para aumentar la ganancia diaria de peso en rumiantes, en especial toros mestizos de la raza Ongole, a partir del uso de sistemas agrícolas de Yuca y otras especies que conforman los cultivos tradicionales de la región especial de Yogyakarta, en Indonesia, que son de bajo costo y de alta rentabilidad económica para pequeños agricultores. Estos investigadores han desarrollado por medio del proceso de la peletización, alimentos granulados a base de mezclas de harina de hoja de Yuca, hoja de *Gliricidia sepium* y harinas cáscara de soya. Debido a que son plantas que poseen perfiles proteicos entre 13% y un 50% de proteína cruda y favorecen la ganancia de peso diario de los toros, en intervalos del 54 a un 62 %. En esta investigación, se priorizó el cultivo de Yuca como parte de una estrategia de suplementación de animales de granja como una alternativa para sustituir productos comerciales y crear suplementos concentrados que mejoren el crecimiento, el peso y el perfil sanguíneo de los rumiantes que sean alimentados *ad libitum* por estas especies vegetales.

Por otra parte, a pesar de que los residuos agrícolas (hoja, tallo, bagazo) de la planta de Yuca han llamado la atención de muchos expertos en nutrición para la creación de suplementos alimenticios, muy pocos han puesto su mirada en los nutrientes que poseen otros residuos provenientes del tratamiento de las plantas de Yuca a nivel industrial. En vista de lo anterior autores como Silva *et al.* (2022) han caracterizado bromatológica y fisicoquímicamente las aguas residuales de Yuca (mancha) derivadas del procesamiento de tubérculos para la obtención de almidones y han estimado el grado de digestibilidad y el efecto que provoca el introducir este residuo en la ingesta diaria de ovinos.

En este estudio se logró establecer que este tipo de residuo, derivado de la planta de Yuca, posee una gran valor energético y nutrientes (ceniza, proteína bruta, lignina, polisacáridos) que satisfacen los requerimientos alimenticios de corderos y son óptimos para la suplementación de dietas comerciales y dietas básicas a base de forraje de Yuca, concentrado de maíz y soya suministradas a rumiantes en la etapa de engorde o levante en cantidades no mayor a 48 g/kg, para que el animal obtenga la mayor ganancia energética. Este tipo de estudio ha permitido ampliar las fronteras de conocimiento sobre el uso de otros residuos provenientes de diversas variedades de la planta de Yuca y que son de utilidad en la agroindustria.

Así, por ejemplo, en muchos países africanos y asiáticos los cultivos de Yuca han cobrado vital importancia como alimento en forma de forraje para animales, gracias a que

el cultivo puede alcanzar una densidad de 60.000 plantas por hectárea y la frecuencia de cosecha del follaje tiende a hacer más corta, aproximadamente 120 días (Hué *et al.* 2012; Vieira *et al.* 2015; Fernández *et al.* 2016; Salles *et al.* 2016). Esto favorece la obtención de un rendimiento promedio de materia seca de hoja, alrededor de 21 t/ha; el cual es menor que el promedio global de rendimiento de masa seca cuando la planta se encuentra en un estado maduro. Sin embargo, este contenido se traduce en una producción de más de 3 toneladas de proteína anual por hectárea (Ravindran & Ravindran, 1988) que resulta ser ventajosa en términos de ración proteica para los animales de corral (Fernández *et al.* 2020). Otros investigadores han utilizado residuos de cosecha Yuca como fuente primaria para generar una diversidad de productos comerciales para alimentación animal, en donde las hojas o el follaje de la planta de Yuca han sido utilizadas debido a su fácil obtención, bajo costo, alto contenido de materia seca, propiedades nutricionales, antioxidantes, antiinflamatorias e inmunomoduladoras; que inciden positivamente, reduciendo enfermedades metabólicas que afectan al hombre y los animales (Sumiati *et al.* 2020).

En algunos países latinoamericanos como Colombia y Argentina, la Yuca se cultiva de manera prominente en las regiones del noreste de ambos países, donde se estiman entre 30.000 y 50.000 ha de superficie cultivadas. En estos países, la Yuca se cultiva para el consumo en fresco de raíces, como parte de la dieta humana y el consumo del follaje para animales domésticos, especialmente rumiantes y herbívoros no rumiantes (Leguizamón *et al.* 2021). Las hojas de Yuca son utilizadas como alimento de forma exclusiva para animales, ya sea en forma de harinas o conservadas tipo ensilaje o heno (Leguizamón *et al.* 2021; Suárez Paternina, 2022), a diferencia de países africanos como el Congo y algunos países asiáticos como Indonesia y Filipinas, donde las hojas de Yuca representan un 60% de las verduras consumidas en la dieta de las personas (Guevara & Plaza, 2022; Leguizamón *et al.* 2021).

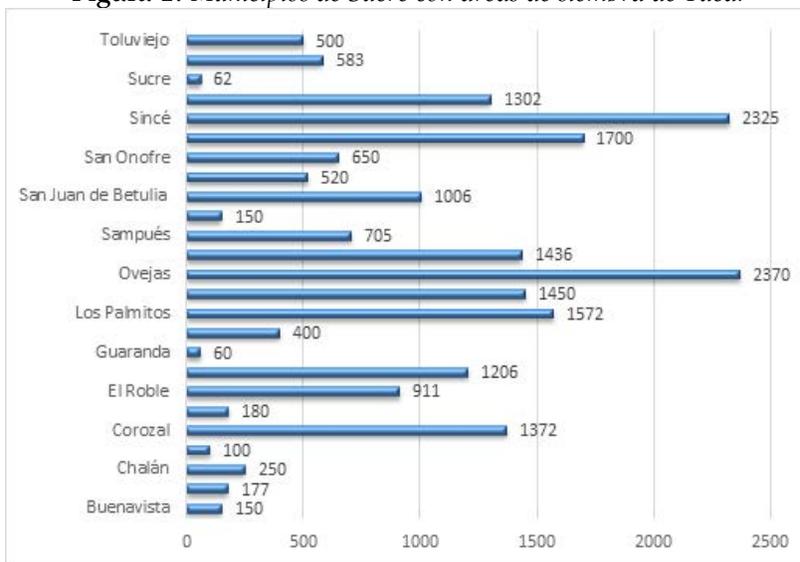
Cabe aclarar que la productividad y calidad nutricional de estos alimentos, donde la materia prima son las hojas y las raíces de la Yuca, depende exclusivamente de la variedad, edad de la planta y la densidad de siembra por hectárea, aunque muchas veces se incluyen factores como la época de corte y las condiciones edafoclimáticas (Leguizamón *et al.* 2021). Para la alimentación animal, se considera que las plantas de Yuca, en sus raíces y parte aérea, deben exhibir alta productividad de materia verde y seca, alto contenido de fibras en los tubérculos y alta capacidad de brotación después del corte, lo cual está sujeto a las propiedades del suelo y las características fisiológicas y genéticas propias de variedad de la planta, que permiten ofrecer cantidades de carbohidratos, minerales, proteínas, vitaminas y ácidos grasos como el omega-3 (Leguizamón *et al.* 2021).

Sin embargo, es importante aclarar que la utilización de follaje fresco de Yuca como alimento para los animales puede devenir un problema, dado los altos contenidos de cianuro de hidrógeno (HCN) presentes en hojas y raíces (Hué *et al.* 2010; 2012). Si bien, el promedio normal de contenido de HCN en el follaje de Yuca se encuentra entre 200 a 800 mg/kg en hojas frescas, estos valores dependen principalmente de factores de tipo genético. Las variedades de Yuca se diferencian principalmente por el contenido de HCN por lo que no todas pueden ser empleadas en estado fresco para la alimentación de animales (Ravindran, 1993). Según Hué *et al.* (2012) el follaje de la Yuca tiende a presentar más contenido de HCN cuando la planta se encuentra en un estado joven (periodo comprendido antes de los cinco meses) y cuando se cosecha repetidamente. Es por esta razón que no se recomienda el uso inmediato de la parte aérea de cualquier clon o variedad de Yuca en este estado fisiológico, sin antes ser transformada en heno o ensilaje, dado las elevadas concentraciones de glucósidos cianogénicos que resultan ser altamente tóxicas para los animales monogástricos y poligástricos, hasta el punto de conducir al envenenamiento por cianuro, la generación de síntomas: dolor de cabeza, náuseas, mareos, diarrea, vómitos y, en ocasiones, la muerte. Para contrarrestar este fenómeno, se recomienda el uso de elevadas temperaturas durante el secado, que provocan la descomposición de los glucósidos cianogénicos y reduce la concentración de HCN libre; de esta manera se puede reducir la limitación del uso de forraje de Yuca en la alimentación animal (Li *et al.* 2019).

Características y usos de las variedades cultivadas en el departamento de Sucre

Los Departamentos de la Región Caribe con mayor tradición en el cultivo de Yuca y mayor producción de toneladas anuales son Bolívar, Córdoba y Sucre (Aguilera-Díaz, 2012; MADR, 2020). De todos estos departamentos, Sucre, es el mayor productor de Yuca industrial a nivel nacional, dado que se cosechan 20.172 ha anuales en aproximadamente 21.172 ha (Agronet, 2023), distribuidas en 13 municipios (Figura 1), los cuales en conjunto generan el 78,8% de la Yuca industrial de toda la Región Caribe (Aguilera-Díaz, 2012). Por esta razón Sucre es visto como un núcleo productivo de Yuca en Colombia (MADR, 2020).

Figura 1. Municipios de Sucre con áreas de siembra de Yuca.



Fuente: Agronet. (2023).

El impacto de la producción de Yuca industrial en Sucre se refleja en el mercado de materiales amiláceos que son multifuncionales dentro del sector industrial manufacturero, energético, biotecnológico y sobre todo en el sector de la industria alimentaria que se ha consolidado en la Región Caribe y en Colombia por la creación y uso de nuevas tecnologías que permiten la obtención de almidones mejorados que son empleados en la elaboración de alimentos horneados y que proporcionan propiedades tecnofuncionales adecuadas para sustituir grasas, espesar, aglutinar, estabilizar y edulcorar alimentos secos y mixtos para bebés, alimentos cárnicos, enlatados, bocadillos, embutidos, productos lácteos y alimentos congelados que cuentan con registro comercial en toda el país (Aguilera-Díaz, 2012; MADR, 2021).

A lo largo de las 5 subregiones que componen al Departamento de Sucre, se cultivan variedades de Yuca conocidas comúnmente como Venezolana, Chirosa, Ica negra, Verónica, Burrón, Corpoica Tai, Corpoica Belloti, Corpoica Sinuana y Corpoica Ropain (Tabla 1, 2), las cuales concentran un estimado de 21.092 hectáreas de siembra y un 41% de producción en comparación a otros cultivos como el arroz, maíz, ñame y patilla, que constituyen los principales cultivos que se siembran en Sucre y los cuales también cuentan con registros estadísticos sobre las áreas de producción de siembra (Figura 2) en las evaluaciones agropecuarias elaboradas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural para el periodo de 2021 (MADR, 2021).

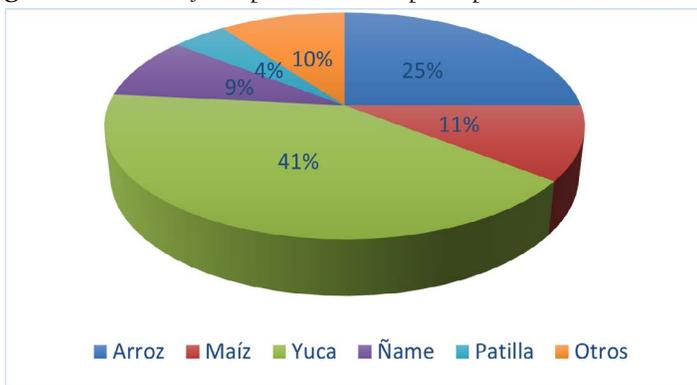
Tabla 1. Rendimiento de las variedades de Yuca actualmente cultivadas en el Departamento de Sucre.

Variedades de Yuca	Rendimiento de las raíces		Rendimiento del Follaje	
	Raíces frescas	Materia seca	Producción de follaje	% de proteína del follaje
Venezolana (MCol 2215)	33.5 t/h. ^a	12.5 t/ha. ^a	126 – 234 hojas/planta. ^j	17.5 -23.9 %. ^{h,i}
Chirosa (MCol 2066)	58.246–50.265 kg/ha. ^b	41,57%. ^c	157 – 246 hojas/planta. ^j	NR
Ica negrita (CM 3306-4)	24,6 t/ha. ^d	13. 1 t/ha. ^e	NR	NR
Burrona (SM 1433-4)	44.1-20.5 t/ha. ^f	24.8 t/ha. ^f	3,0 kg/planta. ^l	15,92%. ^k
Corpoica Tai (M TAI 8)	28,8 t/ha. ^a	34,9 %. ^a	143 – 185 hojas/planta. ^j	5.78 % tallo. ^l
Corpoica Bello-ti (SM 2775-4)	30,3 t/ha. ^g	10,8- 12,0 t/ha. ^g	2,36 kg/planta. ^g	17,43%. ^k
Corpoica Sinuana (SM 1411-5)	31,8 t/ha. ^g	10,3- 11,8 t/ha. ^g	2,18 kg /planta. ^g	NR
Corpoica Ropain (GM 273-57)	28,4 t/ha. ^g	8,7- 9,6 t/ha. ^g	3,18 kg/planta. ^g	NR

Nota. en esta tabla se puede apreciar información sobre el rendimiento de las variedades de Yuca más cultivadas en el Departamento de Sucre, reportadas por estudios realizados en la Región Caribe en donde se tienen en cuenta características de importancia agropecuaria. NR: no se reporta en literatura. ^aLópez *et al.* (2004). ^bGuevara & Plaza (2022). ^cMiranda & Avila (2020). ^dPastrana *et al.* (2014). ^eCeballos *et al.* (2002). ^fMeek Muñoz & Aldana (1998). ^gRosero *et al.* (2020). ^hPaternina (2006). ⁱSuarez *et al.* (2022). ^jSalcedo & Contreras (2017). ^kSerpa *et al.* (2014). ^lGómez *et al.* (2006).

Pese a conocerse cifras actuales de estadística de producción por hectárea y cosecha de Yuca a nivel departamental, no se registra información publicada detallada que valide la extensión por superficie de siembra de cada una de las ocho variedades de Yuca cultivadas en el territorio sucreño durante el periodo de tiempo entre 2008 y 2021, en el cual se encuentra la base histórica de las evaluaciones de oferta agropecuaria de los Municipios y Departamentos en Colombia (MADR, 2021; Agronet, 2023).

Figura 2. Porcentaje de producción de principales cultivos en Sucre.



Fuente: Agronet. (2023).

En relación con lo anterior, hoy en día solo existe un estudio realizado en el Departamento de Sucre por Lázaro Arrieta (2008), donde se reporta que el área de siembra de la variedad de Yuca MTAI 8 alcanza unas 978 hectáreas entre los municipios de Corozal, San Juan de Betulia, San Antonio de Palmito, Los Palmitos y Ovejas, seguida de la variedad SM 1433-4 que logra ocupar 300 hectáreas de cultivo y donde también la variedad CM 4919-1 prevalece con un área de siembra de aproximadamente de 120 hectáreas (Tabla 2). De acuerdo con este estudio la variedad Corpoica Tai (M TAI 8) es la más cultivada en estos municipios, debido al alto rendimiento en raíces que ofrece su siembra en términos de toneladas por hectáreas (Tabla 1), y que se debe gracias al mejoramiento genético del material de siembra y la adaptación de la planta a condiciones ambientales, a suelos de baja fertilidad, climas tropicales, temperaturas $> 24^{\circ}$ y rangos de Precipitación entre 700 a 1500 que persisten anualmente en las subregiones naturales del Caribe seco. Además, porque la fisiología de estas plantas presenta un alto grado de resistencia a plagas como insectos y ácaros barrenadores de tallo, al igual que ha enfermedades como bacteriosis y quemazón que es provocado por hongos fitopatógeno que afectan los sistemas agrícolas y forestales en Sucre, (Tabla 2) (López *et al.* 2004; Ceballos *et al.* 2002; Cadavid, 2006; Lázaro Arrieta, 2008; Rodríguez Henao *et al.*, 2021).

Tabla 2. Variedades de Yuca cultivadas en cinco municipios de Sucre.

Variedades de Yuca	Área cultivada (ha)	Relación a insectos y enfermedades	Zona de adaptación
Corpoica Tai (M TAI 8)	978 had	Resistencia a insectos Trips, Barrenador del tallo y al ácaro verde a.	Clima tropical entre semiárido y subhúmedo. Altura 0-300 msnm. Clima unimodal con estación seca prolongada. Temperatura > 24 °C, Precipitación 700 a 1500 mm/año c, e.
Burrona (SM 1433-4)	300 had	Enfermedad Chamusquina, quemazón y Bacteriosis b.	
Verónica (CM 4919-1)	120 had	Hongo fitopatógeno <i>Diplodia</i> spp., <i>Phytophthora</i> spp, <i>Rosellinia</i> spp b.	

Nota: en esta tabla se ilustra la extensión en área de siembra de las tres variedades de Yuca que más se cultivan en Corozal, San Juan de Betulia, San Antonio de Palmito, Los Palmitos y Ovejas, y se evidencian las características a las cuales estos cultivos se han adaptado en sus zonas de liberación en la región caribe y los insectos y enfermedades a los que son resistentes. ^a López *et al.* (2004). ^b Ceballos *et al.* (2002). ^c Cadavid (2006). ^d Lázaro Arrieta (2008). ^e Rodríguez Henao *et al.* (2021).

Por esta razón es que estas variedades mencionadas de Yuca alcanzan altas densidades y vigor en su establecimiento en las diferentes zonas de estos cinco municipios (Lázaro Arrieta, 2008). En particular estas variedades por sus peculiaridades son utilizadas en el sector industrial de producción de almidón y ocupan la mayor cobertura geográfica que cualquier otra variedad de Yuca mejorada genéticamente por el Centro Internacional de Agricultura Tropical que haya sido liberada en estos municipios (Lázaro Arrieta, 2008; Rodríguez Henao *et al.* 2021). Esto se explica dado a que estas variedades brindan un alto rendimiento de raíces comerciales durante la cosecha. Con respecto a la variedad (SM 1433-4) se obtiene entre 44.1 y 20.5 toneladas de raíces frescas y 24.8 toneladas de raíces secas por hectárea, que son aprovechadas para la extracción de almidones. Simultáneamente es una variedad que arroja un rendimiento de follaje de 3,0 kg de hoja por planta las cuales proporcionan un 15,92% de proteínas disponibles para la alimentación animal (Meek Muñoz & Aldana, 1998; Cadavid, 2006; Gómez *et al.* 2006; Serpa *et al.* 2014). No obstante, de la variedad M TAI 8, que es la más cultivada en estos municipios y Sucre en general, dado a que de esta variedad obtiene el rendimiento más alto de raíces frescas, correspondiente a 28,8 a toneladas por hectárea, y un rendimiento promedio de follaje entre 143-185 hojas/planta con un porcentaje de proteína de 5,78% no tan llamativo para la formulación y uso alimentario, pero aun así es la variedad más rentable para producir almidón a grandes escalas (López *et al.* 2004; Salcedo & Contreras, 2017; Gómez *et al.* 2006).

Basándose en lo anterior se recomienda la realización de estudios y encuestas que permitan estimar el área de distribución, producción y rendimiento de cada una de las 8 variedades de Yuca cultivadas en Sucre, las cuales conforman los principales cultivos que sustentan la oferta y demanda de raíces de Yuca en todas las plazas mayoristas del departamento y aún más importante el mercado de almidón a nivel nacional por sus importantes características en cuanto al rendimiento de raíces como se evidencia en la Tabla 1 (Lázaro Arrieta, 2008; Agronet, 2023; MADR, 2020).

Prosiguiendo con nuestros resultados, se encontró que, a pesar de que en la Costa Caribe se liberaron 25 variedades mejoradas de Yuca, desarrolladas por la Alianza Bioersity International y el Centro Internacional de Agricultura Tropical en trabajo colaborativo con la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Aguilera-Díaz, 2012; Rodríguez Henao *et al.* 2021), en el Departamento de Sucre solo se cultivan prolíficamente ocho variedades de Yuca con registro para comercialización de material de siembra en Colombia (Tabla 3), convenientemente porque son variedades mejoradas que poseen ventajas adaptativas de tipo genéticas, que les permiten en su fisonomía tolerar climas tropicales-subhúmedos con estación seca prolongada, alturas comprendidas entre 0-300 msnm, temperaturas mayores de 25 °C, y rangos de precipitación entre 700 a 1500 mm/año (Cadavid, 2006; Rosero *et al.* 2020), que perduran en los ecosistemas sucreños. Asimismo, porque son variedades capaces de producir altas cantidades de raíces frescas que oscilan entre 24,6 y 44.1-20.5 t/ha y cantidades de raíces secas que fluctúan entre 8,7 y 24.8 t/ha (Tabla 1) (Rodríguez Henao *et al.* 2021) y porque son cultivos rentables que no requieren de altos costos de producción para su establecimiento y producción. Por esta razón, estas variedades son las más cultivadas por los campesinos y empresarios locales del Departamento y son las que conforman los dos grandes segmentos de producción de Yuca en Sucre (Ospina & Ceballos, 2002; Aguilera-Díaz, 2012; Rodríguez Henao *et al.* 2021).

Tabla 3. Variedades de Yuca liberadas en la Región Caribe y el Departamento de Sucre.

Variedades de Yuca	Código de mejoramiento	Cultivadas potencialmente en Sucre	Segmentos de producción		
			Yuca dulce	Yuca industrial	Yuca de forraje
Venezolana	(MCol 2215)	★	★	-	-
ICA negrita	(CM 3306-4)	★	★	-	-
Chirosa	(MCol 2066)	★	★	-	-
Verdecita o P12	(MCol 1505)	-	★	-	-
Corpoica costeña	(CG 1141-1)	-	★	-	-
Corpoica rojita	(SGB 765-4)	-	★	-	-
Corpoica caribeña	(SGB 765-2)	-	★	-	-
Blanca mona	(MCol 2253)	-	★	★	-
Burrona	(Sm 1433-4)	★	-	★	-
Corpoica Tai	M TAI 8	★	-	★	-
Verónica	(CM 4919-1)	-	-	★	-
Corpoica colombiana	(CM 3306-19)	-	-	★	-
Corpoica Gines	(CM 4843-1)	-	-	★	-
Corpoica Belloti	(SM 2775-4)	★	-	★	-
Corpoica-Sucreña	(CM 3555-6)	-	-	★	-
Corpoica Sinuana	(SM 1411-5)	★	-	★	-
Corpoica Ropain	(GM 273-57)	★	-	★	-
Mven25	(Mven25)	-	-	★	-
Corpoica Orense	(SM 1278-2)	-	-	★	-
Corpoica Caiseli	(SM 1278-2)	-	-	★	-
Corpoica Sm	(2081-34)	-	-	-	★

Variedades de Yuca	Código de mejoramiento	Cultivadas potencialmente en Sucre	Segmentos de producción		
			Yuca dulce	Yuca industrial	Yuca de forraje
Corpoica Sm	(1438-2)	-	-	-	★
Corpoica Sm	(1511-6)	-	-	-	★
Corpoica Sm	(2546-40)	-	-	-	★
Corpoica Sm	(2612-24)	-	-	-	★

Nota. En esta tabla se muestra las 25 variedades de Yuca que fueron liberadas en la Región Caribe, las variedades que más se producen en el territorio sucreño y se señalan las variedades que son empleadas en el sector industrial y el sector de consumo en el departamento. La información citada en la tabla sobre los cultivares más empleados en Sucre fue suministrada por personal de CIAT y la oficina de desarrollo económico departamental de Sucre y complementada con información establecida en la tabla preparada por el investigador Fernando Calle, la cual es tomada de la base de datos del proyecto mejoramiento de la Yuca CIAT, 2004 e información expuesta en estudios de a Aguilera-Díaz (2012) y b Rosero *et al.* (2020); Ospina & Ceballos (2002); Cadavid (2006); Rivero *et al.* (2015); DANE (2016) y Rodríguez Henao *et al.* (2021).

Estos segmentos de producción son conocidos como el sector de Yuca de consumo o Yuca dulce, dirigida al sector de consumo fresco (Tabla 3). Estos cultivares se caracterizan por su bajo contenido de ácido cianhídrico tanto en raíces como en hoja y alto contenido de materia seca (Ospina & Ceballos, 2002). En este sector se encuentran las variedades Venezolana (MCol 2215), ICA negrita (CM 3306-4) y Chiroso (MCol 2066), que son consideradas como cultivares de doble propósito, dado que se usan para extraer almidón, follaje y raíces, tanto para el mercado de producto fresco, en donde se incluye la formulación de alimentos balanceados para animales y el consumo de derivados para humanos (Aguilera-Díaz, 2012; Rodríguez Henao *et al.* 2021).

De igual modo, se encuentra el segmento de Yuca amarga dirigida al sector agroindustrial (Tabla 3). Estos cultivos se definen con esa connotación debido a su alto contenido de glucósidos cianogénicos presente en el bagazo, la pulpa de sus raíces y como en hoja y tallo. En este sector se encuentran las variedades de Yuca, Burrón (SM 1433-4), Corpoica Tai (M TAI 8), Corpoica Belloti (SM 2775-4), Corpoica Sinuana (SM 1411-5), Corpoica Ropain (GM 273-57), que han sido empleadas por décadas en los escenarios de producción para satisfacer las necesidades industriales de obtención y demanda de almidón de las plantas almidoneras, y para la elaboración de harinas y diferentes tipos de

insumos para la industria alimenticia de horneados y cárnicos y la industria de carburantes (Giraldo *et al.* 2006; Aguilera-Díaz, 2012; MADR, 2021; Rodríguez Henao *et al.* 2021).

Por otra parte, existe un segmento del sector de producción de Yuca en la Región Caribe, al cual se le ha dado poca relevancia y corresponde al segmento de la Yuca de forraje (Tabla 3) conformada por cinco variedades Corpoica Sm (2081-34), (1438-2), (1511-6), (2546-40) y (2612-24), cuyo genotipo fue creado solo para satisfacer la demanda de procesos agroindustriales que involucran el follaje como materia prima que pueda incorporarse en los diferentes sistemas de producción de la industria alimentaria de bovinos. Estas variedades se caracterizan por la productividad de materia verde y seca, el rápido crecimiento foliar y un rendimiento de forraje de alrededor de 20,000 kg de materia seca por hectárea (Rosero *et al.* 2020).

Estas variedades de uso forrajero fueron introducidas por el CIAT y Corpoica dentro del marco del proyecto de investigación y transferencia de tecnología “**Desarrollo de sistemas de producción de raíces y parte aérea de la planta de Yuca para ser utilizada como suplemento energético proteico en la producción y mejora de la calidad de la carne bovina en el departamento de Córdoba**”, financiado por MADR, en 2010. Estas variedades se liberaron exclusivamente para los Departamentos de Córdoba, Magdalena y Sucre, debido a caracteres como alta producción de follaje (hojas, pecíolos y ramas tiernas) con alto contenido nutritivo de fibras, minerales, vitaminas y proteínas, que superan el 21% y que las cualifica como una alternativa de alimentación para complementar la dieta de los animales (Rivero *et al.* 2015). No obstante, estos cultivares no son representativos en términos de siembra en el Departamento de Sucre. Actualmente no se cuenta con registros verificados e información que date exactamente en qué zonas de Sucre se cultivan estas variedades (Rosero *et al.* 2020).

El follaje de yuca, un alimento alternativo desaprovechado en Sucre

En este punto, es importante resaltar que en Sucre el sector yuquero ha priorizado por décadas el cultivo robusto de variedades de Yuca de uso industrial (Tabla 3) para la producción convencional de raíces (MADR, 2020), antes que el aprovechamiento zootécnico del follaje de la planta para la alimentación animal y la creación de alimentos balanceados (Suárez Paternina *et al.*, 2022). Sin embargo, el campesino natural de Sucre ha empleado por tradición las raíces y el follaje de dos variedades de Yuca (venezolana–MCol 2215 y Chiroso–MCol 2066) para alimentar el ganado bovino, porcino y hasta aves (Rosero *et al.* 2020), debido a que la biomasa de estas partes de las plantas de dichas variedades poseen un alto valor nutricional que proporciona a estos animales grandes fuentes de carbohidratos, minerales como el hierro, potasio, calcio y magnesio, bajos

niveles de grasa, vitaminas como el Acido ascórbico, el caroteno, y perfiles proteicos entre 18% y 22% (Aguilera-Díaz, 2012).

Específicamente de las variedades (MCol 2215) y (MCol 2066) se obtiene en términos de rendimiento de raíces una alta disponibilidad de pulpa con elevado contenido de almidón adecuado para alimentar a vacas y cerdos en las etapas fisiológicas de gestación, lactancia y levante que corresponden a las fases más importantes para la asimilación de grandes cantidades de hidratos de carbono, ideales para la ganancia de energía y producción de leche (Rivero *et al.* 2015). Simultáneamente, el rendimiento de las raíces juega un papel sustancial para los productores de Yuca y de almidones nativos de los diferentes municipios de Sucre, donde la economía de muchas familias depende de la elaboración de subproductos horneados, constituidos principalmente por harinas y almidones de Yuca (Rosero, 1972; CIAT, 2004; Aguilera-Díaz, 2012; Rosero *et al.* 2020). En efecto, de la variedad (MCol 2215) se obtiene una producción de raíces frescas de 33.5 t/ha y un 12.5 t/ha de raíces secas (Tabla 1) ((López *et al.* 2004; Paternina, 2006; Suarez *et al.* 2022), mientras que en el caso de la variedad (MCol 2066) se obtiene un aporte significativo de raíces frescas en un intervalo de 50.265 a 58.246 kg/ha y un porcentaje de 41,57% de raíces secas (Tabla 1) (Salcedo & Contreras, 2017; Miranda & Ávila, 2020; Guevara & Plaza 2022). Por lo que se refiere al uso del follaje para alimentación animal, la variedad (MCol 2215) proporciona una producción de follaje entre 126 y 234 hojas por planta y brinda niveles de proteína entre 17.5 a 23.9 %, ideales para la creación de bloques multinutricionales y concentrados. Y, en cuanto a (MCol 2066), se alcanza una producción de follaje de 157 a 246 hojas/planta, en cuanto a la variedad (MCol 2066).

En realidad, en Sucre el uso del follaje de Yuca para la alimentación animal es vista como una práctica convencional a la que el ganadero recurre para satisfacer la ingesta diaria de pastos en periodos donde la baja precipitación y la sequía prolongada genera la pérdida parcial de gramíneas, y cuando no existe la capacidad de movilizar el ganado en estos periodos a tierras bajas con presencia de humedales y afluentes hídricos que permiten el crecimiento perenne del pasto de corte (Suárez Paternina, 2022). No es desconocido que en los cultivos de Yuca en Sucre la parte aérea de la planta de Yuca es utilizada comúnmente como materia seca de aporte orgánico el ciclo de nutrientes en el suelo (Rivero *et al.* 2015; Guevara & Plaza, 2022), y en ciertas ocasiones un porcentaje de estas hojas y tallo son provistas a los animales en tiempo de cosecha cuando la planta ha alcanzado una madurez fisiológica entre los 9 y 11 meses (Yandia *et al.* 2018); periodo donde ya la lámina foliar ha perdido un 18,4 % de su contenido de proteína y el aporte proteínico que se le ofrece a las especies es bajo y no supera los 120 gramos de proteína (Ravindran & Ravindran, 1988; Ravindran, 1993).

Definitivamente, como en Sucre la mayor parte de los cultivos de Yuca son destinados para la producción de raíces, no se le da el grado de importancia a la cosecha de la parte aérea de la planta antes de los 11 meses, como sucede en otros países como Brasil, Indonesia, Asia y África, donde los cultivos de Yuca son destinados exclusivamente a la producción de hojas, puesto que se prevé que la cosecha del follaje afecta en el desarrollo fisiológico de las raíces y por ende se busca evitar la reducción en el contenido de almidón (Buitrago, 1990; Pérez & Yépez, 2009; Guevara & Plaza, 2022; Fernández *et al.* 2016; Fernández *et al.* 2020). Es por esta razón que la parte aérea de las plantas de Yuca nunca ha estado en primer plano de producción en Sucre, y se ignora su potencial comercial y su importancia como suplemento nutritivo para animales (Ospina & Ceballos, 2002; Rodríguez Henao *et al.*, 2021).

Dicho de otra manera, en todo el territorio sucreño persiste un vacío de información sobre la composición nutricional que tiene la parte aérea de los cultivos de Yuca de las variedades de consumo fresco (Yuca dulce) y de forraje. Esto se evidencia por la falta de información científica actualizada sobre variedades de Yuca producidas en Sucre (Tabla 1), y la falta de industrias y asociaciones enfocadas en el aprovechamiento y uso sostenible de la hoja de Yuca, como material para producir suplementos alimenticios para animales. Por esta razón en Sucre no se cuenta con sistemas de cultivos de Yuca de forraje los cuales son implementados en otros departamentos como en Córdoba en donde se tienen cultivos tecnificados que prometen densidades de plantas por hectáreas mayores a 40.000 y de los cuales se saca un rendimiento promedio de materia seca de hoja de alrededor de 21 t/ha del cual se deriva una producción de 4 toneladas de proteína anual por hectárea disponible para el ganado (Ravindran & Ravindran, 1988).

Probablemente la falta de implementación de cultivos de Yuca de forraje en el Departamento de Sucre, y el desaprovechamiento de los perfiles proteicos, vitamínicos de la parte aérea de la planta Yuca, está en relacionada en general con diversos factores, tales como la falta de investigaciones, transferencia de conocimiento científico y acompañamiento técnico a los pequeños y medianos ganaderos y agricultores, quienes carecen de conocimiento sobre los beneficios nutricionales y fisiológicos que aportan las hojas de Yuca, y desconocen las formas en la que estas pueden ser ofrecidas a los animales es decir desconocen de suplementos como los bloques multinutricionales y concentrados a base de hoja y del heno, y ensilaje a partir de hoja, peciolo y tallo de Yuca, que son dos fuentes de alimentos que se debería incorporar siempre en la dieta de los animales de corral dado a la contribución de proteína, vitamina A, C, complejo B y minerales como el calcio y hierro que estos ofrecen y porque son alimentos de rápida elaboración y rentables que pueden sustituir alimentos comerciales y el pasto de corte (Suárez Paternina *et al.*, 2022).

Adicionalmente, la población rural que conforma más del 50% de los productores de Yuca departamental, ha estado sujeta por muchos años al cultivo de variedades de Yuca tradicionales, lo que hace que la implementación de algunas variedades liberadas como las de forraje (Tabla 3) sean despreciada por estos mismos actores, al igual que la implementación de innovaciones y tecnologías que se traducirían equívocamente en mayores costos para el manejo integrado de estos cultivos (Ospina & Ceballos, 2002). Factores como el mal manejo de las propiedades de los suelos, el insuficiente apoyo económico al sector productor de la Yuca, son además otros factores no menos importantes que conforman el conjunto de limitantes para la siembra de variedades de Yuca de forrajeo mejoradas, en el Departamento de Sucre (Rodríguez, 2021; Santos *et al.*, 2019).

Conclusiones

El Departamento de Sucre, de acuerdo con sus características geográficas, se caracteriza por ser un gran productor agropecuario a nivel nacional, destacándose en la oferta alimentaria como una de las zonas de mayor producción de Yuca industrial y dulce. La Yuca, como cultivo, juega un papel primordial a nivel socioeconómico, agroindustrial y cultural dentro del Departamento, al ser el sustento de un sinnúmero de familias campesinas, constituyéndose como el cultivo principal de sostenibilidad económica de la población agricultora del departamento.

El tubérculo de Yuca reviste una gran importancia para la seguridad alimentaria y la generación de ingresos, especialmente en regiones de escasa fertilidad, con precipitaciones esporádicas o largos periodos de sequía. Además, el uso de la planta de Yuca ha cobrado vital importancia en la actualidad, dado que en muchos países se ha convertido en un cultivo emergente que brinda un aporte calórico y proteico a personas y animales de granja, que pueden asimilar en forma de alimento hojas, tallos y raíces, y de los cuales se podría obtener un producto aceptable dentro de los segmentos del mercado local. Sin embargo, a nivel de la región, existe un gran vacío de información sobre el sistema de manejo y especificidad de las distintas variedades de Yuca para la producción de forraje y la creación de suplementos alimenticios para la alimentación animal, por lo que se hace necesario desarrollar investigaciones que permitan caracterizar las potencialidades que ofrecen las variedades autóctonas y liberadas, y adicionalmente desarrollar procesos y productos encaminados a suplir la demanda de alimento existente.

Referencias

- Aguilera-Díaz, M. M. (2012). *La Yuca en el Caribe colombiano: de cultivo ancestral a agroindustrial*. Banco de la República de Colombia. Centro de Estudios Económicos Regionales (CEER)–Cartagena, No.158. <https://doi.org/10.32468/dtseru.158>
- Agronet (Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario Colombiano). (2023). *EVA Nacional y Departamental 2019–2021*. [online]. <https://experience.arcgis.com/experience/17859d5712b046fca6b0df5781e0b560/page/EVA-Departamental/>
- Alcázar-Alay, S. C. & Meireles, M. A. A. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology (Campinas)*, 35(2). 215–36. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6749>
- Ambarsari, I., Endrasari, R. & Oktaningrum, G. N. (2018). The effect of cassava and corn flour utilization on the physicochemical characteristics of cassava leaves snack. Paper presented at the IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 102(1) doi:10.1088/1755-1315/102/1/012046 Retrieved from www.scopus.com
- Aristizábal, J., Sánchez, T. & Lorío, D. M. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de Yuca* (Vol. 163, p. 137). Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. <http://www.fao.org/3/a1028s/a1028s00.htm>
- Breuninger, W. F., Piyachomkwan, K. & Sriroth, K. (2009). Breuninger, W. F., Piyachomkwan, K., & Sriroth, K. (2009). Tapioca/cassava starch: production and use. In *Starch* (541-568 pp). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00012-4>
- Buitrago, J. (1990). *La Yuca en la alimentación animal*, pp. 67-71. CIAT. Cali, Colombia. (446 pp). http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/Yuca_Alimentacion_Animal.pdf
- Cadavid-López, L. F. (2006). Aspectos tecnológicos sobre producción de Yuca. Clayuca y CIAT. Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. (29-35 pp). <https://hdl.handle.net/10568/54279>
- Canales, N. & Trujillo, M. (2021, May 4). *La red de valor de la Yuca y su potencial en la bioeconomía de Colombia*. Instituto de Ambiente de Estocolmo, 1-30. <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2021/05/workingpaperycubioeconomia-canalestrujillo-mayo21.pdf>
- Ceballos, H., Morante, N., Calle, F., Lenis, C., Lenis, J., Jaramillo, G. & Gustavo; Pérez, J. (2002). *Mejoramiento genético de la Yuca. La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*. (CIAT); Consorcio Latinoamericano para la Investigación y el Desarrollo de la Yuca; Proyecto IP-3 de Mejoramiento de Yuca, Cali, Colombia. (295-325 pp). <https://hdl.handle.net/10568/54117>
- DANE (2016, 16 de marzo). *El cultivo de la Yuca*. 46–89. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_abr_2016.pdf

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2023). Valor de la Producción agrícola. FAOSTAT. Consultado el 16 de marzo de 2023. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QV>
- Fernandes, F. D., Guimarães Júnior, R., Vieira, E. A., Fialho, J. D. F. & Malaquias, J. V. (2016). Yield and nutritional value of shoots and tuberous roots of eight industry cassava genotypes. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 17, 1-12. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402016000100001>
- Fernandes, F. D., Guimarães Júnior, R., Vieira, E. A., Fialho, J. D. F. & Malaquias, J. V. (2020). Pruning as a strategy to improve the nutritional value of the aerial parts of industry-purpose cassava clones. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 21. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402121082020>
- Gao, S., Song, W. & Guo, M. (2020). The Integral Role of Bioproducts in the Growing Bioeconomy. *Industrial Biotechnology*, 16(1), 13–25. <https://doi.org/10.1089/ind.2019.0033>
- Giraldo, A., Velasco, R. & Aristizabal, J. (2006). *Obtención de harina a partir de hojas de Yuca (Manihot esculenta Crantz) para consumo humano*. [Tesis de pregrado, Universidad del Cauca]. Repositorio de la corporación colombiana de investigación agropecuaria. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19219>
- Gómez, M., Arroyo, C. & Giraldo, M. (2006, September 11). *Utilización de la soca de cultivos de Yuca Clon (1433-4), hojas con tallos tiernos y tallos duros para suplementación en época de sequía en un hato Cebú*. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/utilizacion-de-la-soca-de-cultivos-de-Yuca-clon-1433-4-t26560.htm>
- Guevara, M. E. C. & Plaza, Y. J. P. (2022). Efecto del ácido 1-naftalenacético sobre algunos componentes de rendimiento en Yuca (*Manihot esculenta Crantz*) variedad MCol 2066. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 21(1), 62-72. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n1.2023.1935>
- Hue, K. T., Ledin, I., Spörndly, E. & Wredle, E. (2010). Effect of feeding fresh, wilted and sundried foliage from cassava (*Manihot esculenta Crantz*) on the performance of lambs and their intake of hydrogen cyanide. *Livestock science* 131(2-3), 155-161. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.03.012>
- Hue, K. T., Ledin, I., Wredle, E. & Spörndly, E. (2012). Effect of harvesting frequency, variety and leaf maturity on nutrient composition, hydrogen cyanide content and cassava foliage yield. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(12), 1691. doi: 10.5713/ajas.2012.12052
- Ingredion (2019, 17 de Abril). *Tapioca starches high performance, clean taste and texture*. <https://www.ingredion.com/apac/en-au/ingredients/ingredient-types/tapioca.html>
- Latif, S. & Müller, J. (2014). Cassava—How to explore the ‘all-sufficient’. *Rural*, 21(48), 30-31. https://www.rural21.com/fileadmin/downloads/2014/en-03/rural2014_03-S30-31.pdf
- Latif, S. & Müller, J. (2015). Potential of cassava leaves in human nutrition: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 44(2), 147-158. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.006>

- Lázaro Arrieta, R. (2008). *Evaluación de los rendimientos en litros de alcohol kilogramo de harina de Yuca de las variedades Mcol 2215 (venezolana) y Mtai 8, vía enzimática*. [Tesis de pregrado, Universidad de Sucre]. Repositorio de la Universidad de Sucre. <http://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/78>
- Leguizamón, A. J., Rompato, K. M., Hoyos, R. E. & Audisio, M. C. (2021). Nutritional evaluation of three varieties of cassava leaves (*Manihot esculenta* Crantz) grown in Formosa, Argentina. *Journal of Food Composition and Analysis*, 101, 103986. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103986>
- Li, M., Zhou, H., Xu, T. & Zi, X. (2019). Effect of cassava foliage on the performance, carcass characteristics and gastrointestinal tract development of geese. *Poultry Science*, 98(5), 2133-2138. <https://doi.org/10.3382/ps/pey567>
- Li, M., Zi, X., Tang, J., Xu, T., Gu, L. & Zhou, H. (2020). Effects of cassava foliage on feed digestion, meat quality, and antioxidative status of geese. *Poultry Science*, 99(1), 423-429. <https://doi.org/10.3382/ps/pez522>
- López, J., Jaramillo, M. F., Panza, B. D., Mendoza, E., Delgado, R., Ceballos, H., Perez, J. C., Hernández, L. A., Lenis, J. I., Calle, F., Ortega, E., Iglesias, C., Morante, N. & Ramírez, J. (2004). *Nuevas variedades de Yuca para uso industrial en la Región Caribe colombiana: Corpoica-Caiseli, Corpoica-Orense, Corpoica-Tai, Corpoica-Veronica, Corpoica Gines*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/2120>
- Ma, S., Wang, H., Li, J., Xue, M., Cheng, H., Qin, Y. & Blecker, C. (2021). Effect of the ratio of wheat flour and cassava and process parameters on the pellet qualities in low starch feed recipe extrusion. *Animal Feed Science and Technology*, 271, 114714. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114714>
- Meek Muñoz, E. & Aldana Navarrete, H. (1998). *Primer encuentro técnico nacional de producción y transformación de Yuca*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/21410>
- MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural). (2020). *Subsector Productivo de la Yuca. Minagricultura*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2020-12-31%20Cifras%20Sectoriales%20yuca.pdf>
- Miranda Cardona, C. & Avila Arciria, J. (2020). *Evaluación de materia seca y almidón de Yuca (manihot esculenta crantz) variedad mcol 2066 (chirosa) con inductor auxínico de enraizamiento aplicado en pre-siembra, cultivada en el sinú medio*. [Tesis pregrado, Universidad de Córdoba]. Repositorio de la Universidad de Córdoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/3218>
- Mulyasari, Melati, I., Yosmaniar. & Subaryono. (2021). Evaluation of *Bacillus amyloliquefaciens* UG7 in improving cassava leaf meal as a raw material for fish feed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 860(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/860/1/012002>

- Odile Raphaëlle, N. D., Kwassi, T., Benjamin, A. M., Oke, O., Okanlawo, O. & Kokou, T. (2022). Use of manihot esculenta leaves on physiological and production parameters of sasso breeder hens. *Veterinary Medicine and Science*, 8(4), 1547-1552. DOI: 10.1002/vms3.797
- Oladunmoye, O. O., Aworh, O. C., Maziya-Dixon, B., Erukainure, O. L. & Elemo, G. N. (2014). Chemical and functional properties of cassava starch, durum wheat semolina flour, and their blends. *Food science & nutrition*, 2(2), 132-138. DOI: 10.1002/fsn3.83
- Ospina, B. & Ceballos, H. (2002). *La Yuca en el tercer Milenio: Sistemas Modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización* (Vol. 327). CIAT. <https://orcid.org/0000-0002-8744-7918>
- Parra, J. (2020, 30 de junio). *Cifras sectoriales: Subsector productivo de la Yuca*. <https://sioc.mina-gricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales%20yuca.pdf>
- Paternina-Paternina, Y. (2006). *Efecto de la densidad de siembra sobre los parámetros de producción forrajera y el valor nutritivo de la variedad de Yuca venezolana (Manihot esculenta Crantz)*. [Tesis de pregrado, Universidad de Sucre]. Repositorio de la Universidad de Sucre. <http://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/395>
- Pastrana, F. E., Heraldo, A. & Salcedo, J. G. (2014). Respuesta de dos cultivares de Yuca (Manihot esculenta Crantz) (CM 3306-4 y MCOL 2215) a la aplicación de riego en condiciones hídricas diferentes. *Acta Agronómica*, 64(1), 48-53. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n1.43935>
- Pérez López, C. & Yépez Florez, Á. (2009). *Suplementación con Yuca y follaje de Yuca Manihot esculenta crantz en ganado doble propósito en época de verano*. [Tesis de pregrado, Universidad de la Salle]. Repositorio de la universidad de la Salle. <https://ciencia.lasalle.edu.co/zoo-tecnia/298>
- Ravindran, V. (1993). Cassava leaves as animal feed: potential and limitations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 61(2), 141-150. DOI:10.1002/jfsa.2740610202
- Ravindran, G. & Ravindran, V. (1988). Changes in the nutritional composition of cassava (Manihot esculenta Crantz) leaves during maturity. *Food chemistry*, 27(4), 299-309. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(88\)90014-3](https://doi.org/10.1016/0308-8146(88)90014-3)
- Rivera, T., Andrade, R., Labarta, R., Calle, F. & Becerra Lopez-Lavalle, L. (2021) *Boletín informativo del sector yuquero Colombia 2007-2020*. Cali (Colombia): Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (5 pp). <https://hdl.handle.net/10568/116234>
- Rivero, S., Gomez, W., Salcedo, E., Tordecilla, L. & Ramos, E. (2015). *Nuevas Variedades de Yuca Forrajera para la alimentación Bovina*. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13303/76988_66412.pdf?sequence=1
- Rodríguez Henao, E., Garavito Morales, L. V., Osorio Cardona, Ó., Aguilera Arango, G. A. & Cañar Serna, D. Y. (2021). *Manual técnico para la propagación masiva de semilla vegetativa de Yuca por miniestacas en campo*. In Manual técnico para la propagación masiva de semilla vegetativa de Yuca por miniestacas en campo. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/37003/Ver_Documento_37003.pdf?sequence=4

- Rosero, D. (1972). *Evaluación, producción y calidad del forraje de Yuca, con corte periódico manual*. [Tesis de pregrado, Universidad nacional de Colombia]. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira, Valle del Cauca, Colombia. 65pp. <https://hdl.handle.net/10568/66154>
- Rosero, E. A., Ceballos, H., Calle, F., Lenis, J. I., Salazar, S. & García, J. L. (2020). Corpoica Belloti, Corpoica Sinuana y Corpoica Ropain: nuevas variedades de Yuca industrial para el Caribe seco y húmedo. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-agrosavia*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/11550>
- Prachumchai, R., Cherdthong, A., Wanapat, M., So, S. & Polyorach, S. (2022). Fresh cassava root replacing cassava chip could enhance milk production of lactating dairy cows fed diets based on high sulfur-containing pellet. *Scientific Reports*, 12(1), 1-9. doi: 10.1038/s41598-022-07825-w.
- Salcedo Mendoza, J. & Contreras Lozano, K. (2017). *Agroindustria de productos amiláceos I. Yuca (Manihot esculenta Crantz) y ñame (Dioscorea spp)*. Universidad de Sucre. <https://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/1101>
- Salles, M. S. V., Bonilha, S. F. M., Feltran, J. C., Valle, T. L., Rodríguez, M. M. F. C., Kanthack, R. A. D. & Junior, L. R. (2016). Characterization of cassava (*Manihot sculenta crantz*) aerial parts for ruminant feeding. *Ars Veterinaria*, 32(1), 42-54. <https://doi.org/10.15361/2175-0106.2016v32n1p42-54>
- Santos, J. A., Narváez, L., Salcedo, S. M., Acevedo, A. N., Mercado, L. C. & Salcedo, J. G. (2019). Fisiología del cultivo de Yuca en el bosque seco tropical de Sucre-Colombia. *Temas agrícolas*, 24(1), 17-26. <https://doi.org/10.21897/rta.v24i1.1774>
- Serpa Guerra, A. M., Hincapié Llano, G. & Álvarez López, C. (2014). Determinación del punto isoeléctrico de las proteínas presentes en cuatro fuentes foliares: Yuca (*Manihot esculenta Crank*) variedades verónica y tai, jatropha (*Jatropha curcas L.*) y gmelina (*Gmelina arborea*). *Prospectiva*, 12(1), 30-39. <https://doi.org/10.15665/rp.v12i1.148>
- Silva, P. A., Pires, A. J. V., Pina, D. D. S., Silva, R. R., Santos, S. A., Rodrigues, C. S. & De Carvalho, G. G. P. (2022). Cassava wastewater can be safely used in the diet of feedlot lambs. *Animal Production Science*, 62(7), 601-609. <https://doi.org/10.1071/AN20214>
- Suárez Paternina, E. A., Mestra Vargas, L. I., Paternina Paternina, Y., Salcedo Carrascal, E., Luna Castellanos, L. L. & Araújo Vásquez. (2022). Yuca para la alimentación animal en la Región Caribe: manejo, conservación y uso eficiente. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria agrosavia*. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7405651>
- Suarez, L. M., Salcedo, J. G. & Zapata, J. E. (2022). Actividad biológica de hidrolizados de hoja de Yuca variedad venezolana obtenidos con diferentes enzimas microbianas. *Información tecnológica*, 33(2), 77-88. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000200077>
- Suárez Paternina, E. A., Mestra Vargas, L. I., Paternina Paternina, Y., Salcedo Carrascal, E., Luna Castellanos, L. L. & Araújo Vásquez (2022). Yuca para la alimentación animal en la Re-

- gión Caribe: manejo, conservación y uso eficiente. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria agrosavia*. Doi: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7405651>
- Sumiati, S., Darmawan, A. & Hermana, W. (2020). Performance and Egg Quality of Laying Ducks Fed Diets Containing Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Leaf Meal and Golden Snail (*Pomacea canaliculata*). *Tropical Animal Science Journal*, 43(3), 227-232. <https://doi.org/10.5398/tasj.2020.43.3.227>
- Van Soest, P. J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant. Cornell university press. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. (2023). Google Books. (18-22 pp). https://books.google.com.co/books?id=-mwUu6PL1UgC&printsec=frontcover&source=gbs_atb&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Vieira, E. A., Freitas Fialho, J. & Carvalho, L. J. C. B. (2015). Performance of cassava genotypes for industrial use in areas of the Urucuia River Valley region. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 58(3), 314-318. DOI:10.4322/rca.1843
- Villaver, J. P., Zacal, A. L., Gabaya, N. E. & Cantila, M. L. (2022). Egg production, quality, and hatchability rates of Philippine ducks (*Anas luzonica*) in response to low-cost cassava-based rations. [http://www.ijat-aatsea.com/pdf/v18_n2_2022_March/38_IJAT_18\(2\)_2022_Villaver,%20J.%20P.pdf](http://www.ijat-aatsea.com/pdf/v18_n2_2022_March/38_IJAT_18(2)_2022_Villaver,%20J.%20P.pdf)
- Winarti, E., Gunawan, Sofyan, A., Wirasti, C. A., Noviandi, C. T., Panjono, Agus, A., Harper, K. J. & Poppi, D. P. (2022). Improving live weight gain in Ongole crossbred bulls through processing of *Gliricidia sepium* leaf meal and cassava in a supplement concentrate. *Animal Feed Science and Technology*, 292, 115401. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds-ci.2022.115401>
- Yandia, S. P., Gandonou, C. B., Silla, S., Zinga, I. & Toukourou, F. (2018). Response of four cultivars of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) plantlets free of cassava mosaic virus to micropropagation in different media. *African Journal of Biotechnology*, 17(1), 9-1. <https://doi.org/10.5897/AJB2016>

Uso de tecnologías interactivas en la práctica fonoaudiológica para el lenguaje infantil

Use of Interactive Technologies in Speech-Language Practice for Children's Language

Sandra Milena Paternina Pacheco¹, Marivel Montes Rotela²

Resumen

El objetivo general fue describir las herramientas tecnológicas que utilizan los fonoaudiólogos en la atención del lenguaje infantil, mediante la búsqueda en las bases de datos PubMed, Scopus y Web of Science, en el periodo de 2018 a 2023. En la metodología empleada para realizar el análisis de contenido y determinar los estudios potenciales, se tuvieron en cuenta, en primera medida, las ecuaciones de búsqueda para la extracción de los datos; después, se delimitaron los artículos según los criterios de elegibilidad. En un inicio se seleccionaron 82 artículos potenciales para la revisión, sin embargo, a través de la evaluación del contenido y los criterios como tiempo, accesibilidad, idioma, tiempo de publicación y tipo de investigación se acotaron a 11, realizando posteriormente una sistematización y análisis de los hallazgos. En los resultados se logró describir 11 herramientas implementadas desde la fonoaudiología para la evaluación, la estimulación del lenguaje y la intervención en trastornos del lenguaje infantil. En conclusión, se lograron rescatar 11 estudios en los que se encontraron herramientas como software, robots y aplicaciones móviles. Se determinó que las herramientas interactivas implementadas mostraron óptimos resultados en la evaluación, estimulación o intervención de los diferentes niveles del lenguaje, puesto que en los resultados se identificaron avances significativos en comparación a la terapia convencional.

Palabras clave: fonoaudiología; tecnología e innovación en salud; lenguaje infantil; terapia del lenguaje; desarrollo del lenguaje.

1 Fonoaudióloga, Universidad de Sucre, Joven Investigador Sucre grupo de investigación Fonociencia. Correo: sandra.paternina@unisucrvirtual.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1625-8212>

2 Doctora en bioética, magister en educación, especialista en salud familiar con enfoque familiar, fonoaudióloga, docente e investigadora de la Universidad de Sucre. Correo: marivel.montes@unisucra.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7938-294X>

Abstract

The general objective was to describe the technological tools used by speech therapists in child language care, by searching the PubMed, Scopus and Web of Science databases, in the period from 2018 to 2023. In the methodology used to carry out the content analysis and determining potential studies, the search equations for data extraction were first considered; then, the articles were delimited according to the eligibility criteria. Initially, 82 potential articles were selected for the review, however, through the evaluation of the content and criteria such as time, accessibility, language, publication time and type of research, they were limited to 11, subsequently carrying out a systematization and analysis. of the findings. In the results, it was possible to describe 11 tools implemented from speech therapy for evaluation, language stimulation and intervention in child language disorders. In conclusion, 11 studies were rescued in which tools such as software, robots and mobile applications were found. It was determined that the interactive tools implemented showed optimal results in the evaluation, stimulation or intervention of the different levels of language, since significant advances were identified in the results compared to conventional therapy.

Keywords: speech therapy; technology and innovation in health; baby language; speech therapy; language development

Introducción

El lenguaje es un sistema simbólico complejo, empleado en diversos contextos como un instrumento para obtener conocimiento, resolver problemas y participar eficientemente en la sociedad (Feldman, 2019). Para Lahey, como se cita en Acosta & Moreno (2005), el lenguaje es el conocimiento de un código que permite representar ideas acerca del mundo por medio de un sistema convencional de señales arbitrarias de comunicación. Se construye a través de las interacciones entre la forma (fonología, morfología y sintaxis), el contenido (semántica) y el uso (pragmática). Para Ortiz & Sepúlveda (2004), es un sistema convencional para representar conceptos a través del uso de signos arbitrarios y combinaciones de estos, gobernados por reglas. Según Acosta & Moreno (2005), el lenguaje está conformado por los componentes de fonología, fonética, morfosintaxis, semántica y pragmática.

- Fonología: Estudio del material sonoro, de los fonemas.
- Morfología: Analiza las unidades mínimas o morfemas, que sirven para expresar significados y cumplen un papel esencial en la organización de la oración y el establecimiento de relaciones entre los elementos de la oración.

- Sintaxis: Estudio del orden y las relaciones de dependencia que existen entre los elementos de la oración.
- Semántica: Trata del significado de las palabras y de las oraciones.
- Pragmática: estudio del funcionamiento del lenguaje en su contexto social, situacional y comunicativo (Jiménez Rodríguez, 2010).

La comprensión y producción del lenguaje están íntimamente relacionadas con las disciplinas académicas, por lo cual son predictoras importantes y determinantes del rendimiento y desempeño académico de los niños; ayuda a la construcción del aprendizaje y, con ello, su habilidad para leer y escribir (Niklas *et al.*, 2020).

El proceso de adquisición y desarrollo del lenguaje tiene lugar durante la primera infancia, cuando se genera el mayor número de conexiones y es influenciado por una combinación de factores biológicos, cognitivos, sociales y ambientales. El uso del lenguaje evoluciona a lo largo del tiempo en respuesta a contextos históricos, sociales y culturales. Su desarrollo requiere una comprensión amplia de la interacción humana, incluyendo aspectos no verbales, motivacionales y socioculturales (Costa & Molini-Avejonas, 2020); (Feldman, 2019). Para desarrollar el lenguaje, un niño debe ser capaz de oír, ver, entender y recordar, además de que los niños deben tener la capacidad física para formar el discurso. En este sentido, el niño requiere de habilidades lingüísticas (fonológicas, semánticas, morfosintácticas y pragmáticas) que evolucionan de acuerdo con su edad y terminan dándole cuerpo, entre los 5-6 años, a un lenguaje similar al del adulto y que se continúa perfeccionando con los procesos de educación y socialización.

Esteves, *et al.* (2018) señalan que cuando se estimula a un bebé, se abre a él un abanico de oportunidades y de experiencias que le harán explorar, adquirir destrezas y habilidades de una forma más natural para entender lo que ocurre a su alrededor. La intención es que, a través de estas actividades estimulantes, el niño desarrolle autonomía e independencia, así como su psicomotricidad, habilidades cognitivas, sensoriales y de lenguaje; allí se sitúa la importancia de la estimulación temprana.

El impacto en todos los ámbitos sociales de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en nuestra sociedad ha sido significativo, transformando la manera en que obtenemos información y nos relacionamos. Hoy en día, gran parte de nuestras actividades se realizan o están mediadas a través de recursos tecnológicos. En el campo de la fonoaudiología, las TIC han generado diversas aplicaciones que abarcan diferentes aspectos de la profesión. Estos recursos tecnológicos están presentes en áreas como la evaluación y el diagnóstico, la terapia y la rehabilitación, las herramientas de comunicación aumentativa y alternativa (CAA), así como en la educación y la capacitación de los fonoaudiólogos. Las TIC han brindado a los profesionales de la fonoaudiología nuevas

herramientas y oportunidades para mejorar su práctica y ofrecer un mejor cuidado a sus pacientes (Belloch, 2002).

Para la atención de la población infantil en el campo de la fonoaudiología, el apoyo de nuevas tecnologías digitales y aplicaciones multimedia se ha convertido en una herramienta revolucionaria para generar aspectos potenciadores de la comunicación y que brindan resultados innegables, dado que reemplazan materiales comunes y ordinarios y agregan contextos creativos y motivantes a la hora de desarrollar habilidades verbales. Aunque las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) no son una solución mágica ni infalible, pueden ser una herramienta poderosa para mejorar y potenciar la comunicación en los niños. En primer lugar, las TIC tienen un gran atractivo para los niños, lo que permite captar rápidamente su atención. Por lo general, las TIC son de fácil manejo y existen numerosos sistemas que se adaptan a las necesidades individuales de las personas, además, la mayoría de estas tecnologías son configurables y personalizables. También se pueden encontrar aplicaciones diseñadas para diversos sistemas operativos y plataformas, como teléfonos celulares, tabletas y computadoras, ya sean de Apple, Windows o Android.

Diferentes investigaciones han mostrado la efectividad de las aplicaciones móviles empleadas en la estimulación del lenguaje y la terapia fonoaudiológica de habla y lenguaje (Xuan *et al.*, 2019); (Irvin *et al.*, 2019) el uso de tecnologías interactivas ha mostrados óptimo resultados dentro de los diferentes niveles del lenguaje, puesto que, en las evaluaciones pre y post intervención con las herramientas tecnológicas se identificaron avances significativos en comparación con la terapia convencional, por lo cual se considera que pueden ser implementadas en la práctica clínica profesional.

Metodología

Diseño

Se realizó una búsqueda documental de investigaciones publicadas entre los años 2018 a 2023 utilizando las bases de datos electrónicas Web of Science, Pubmed y Scopus. Las preguntas de investigación que orientaron la búsqueda bibliográfica fueron: ¿Cuáles son las herramientas tecnológicas empleadas por fonoaudiólogos en la evaluación, estimulación e intervención del lenguaje infantil?, y ¿Cuál es la influencia de las herramientas tecnológicas interactivas en la práctica fonoaudiológica para el lenguaje infantil? El objetivo de la búsqueda fue identificar estudios que describieron, planearon o ejecutaron herramientas tecnológicas interactivas en la atención fonoaudiológica para el lenguaje infantil.

Se emplearon, en concordancia con los descriptores de salud (DeCS/MeSH), los términos: *technology*; *child language*; *language therapy*; *language development*; *specific language disorder*; *software*; *mobile applications*; *robotics*; combinados con los operadores booleanos “AND” y “OR” en inglés, portugués y español. Se compilaron investigaciones preliminares, de las que se analizó título, autores, año de publicación, tipo de estudio, resumen, palabras clave, metodología y principales resultados.

Criterios de inclusión y exclusión

Como criterios de inclusión para seleccionar las investigaciones a analizar se determinó que estas debían (a) haber sido publicados entre 2018 y 2023; (b) ser investigaciones que exploran el uso de tecnologías en la práctica fonoaudiológica en lenguaje infantil; (c) haber sido publicadas en idioma español, inglés o portugués.

Como criterios de exclusión se consideraron (a) año de publicación diferente al tiempo establecido, (b) idioma de publicación diferente a inglés, portugués, español, (c) otras áreas de fonoaudiología diferentes a lenguaje infantil, como audición, motricidad orofacial, voz, deglución, lenguaje en adultos, discapacidad, aprendizaje, comunicación alternativa y aumentativa CAA, (d) trastornos como: autismo, síndrome de Down, parálisis cerebral, (e) herramientas diseñadas para padres y (f) herramientas utilizadas fuera del consultorio.

Las once (11) investigaciones seleccionadas de forma preliminar, cumplieron con los criterios de inclusión. Posterior a su selección, se analizaron los participantes, el tipo de tecnología o herramienta, el objetivo de la herramienta, efectividad y resultados.

Resultados

Con la aplicación de la estrategia de búsqueda, se obtuvieron 798 documentos: en Web of Science 195, en Pubmed, 454 y en Scopus 149, tal como se detalla en la siguiente Tabla.

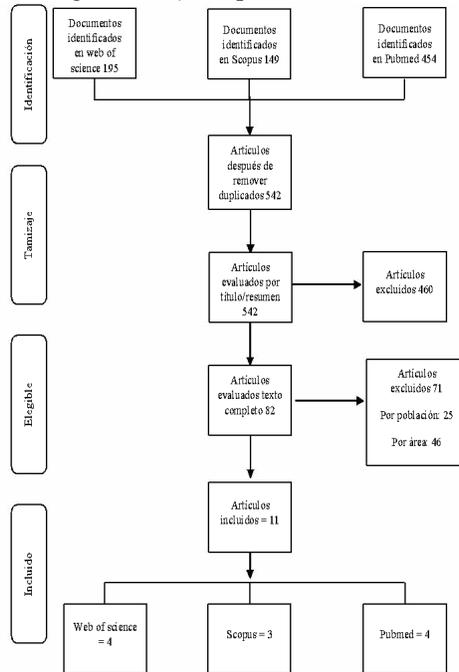
Tabla 1. *Estrategia de búsqueda.*

Base de datos	Estrategia de Búsqueda	Resultados
Web of Science WOS	app AND child language AND language therapy robot AND child language AND language therapy software AND child language AND language therapy	195
Pubmed	technology AND child language AND language therapy child language OR Language development OR specific language disorder AND language therapy AND software	454
Scopus	(TITLE-ABS-KEY (app) OR TITLE-ABS-KEY (software) OR TITLE-ABS-KEY (robotics) OR TITLE-ABS-KEY (technology) AND TITLE-ABS-KEY (language AND therapy) OR TITLE-ABS-KEY (specific AND language AND disorder) AND TITLE-ABS-KEY (child AND language) AND NOT TITLE-ABS-KEY (autism) AND NOT TITLE-ABS-KEY (adult)) AND PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))	149
Total		798

Nota: Elaboración propia (2023).

Del total de documentos identificados (n=798), 542 se obtuvieron después de la eliminación de artículos duplicados; se realizó la evaluación de 542 artículos por título y resumen, excluyendo 460. Luego, se seleccionaron 82 artículos completos para evaluación de elegibilidad, de los cuales 71 fueron excluidos por no cumplir con los criterios de inclusión definidos. Incluyendo un total de 11 artículos para ser sometidos al análisis y lectura crítica (Figura 1).

Figura 1. Diagrama de flujo para la selección de artículos.



Nota: Elaboración propia (2023).

Tras realizar el proceso de identificación y selección de los artículos finales para la revisión, se inició la lectura crítica y el análisis detallado de los mismos. Para lo cual se elaboró una Tabla de sistematización del corpus teórico, identificando el autor, título del artículo, herramienta empleada, metodología y los resultados de la investigación (Ver Tabla 2).

Tabla 2. *Sistematización del corpus.*

Autor	Título	Herramienta	Objetivo	Metodología	Resultados
(Esfandbod <i>et al.</i> , 2023)	Utilizing an Emotional Robot Capable of Lip-Syncing in Robot-Assisted Speech Therapy Sessions for Children with Language Disorders	Robot RASA	Evaluar la eficacia de la utilización de robots sociales como herramientas de asistencia en la terapia del habla en niños con trastornos del lenguaje	Comparación de dos métodos de intervención, grupo experimental (intervenciones RAST) y grupo control (intervención convencional)	Los resultados del estudio indican que participar en sesiones de terapia del habla asistida por robot (RAST) mejora los logros de los niños con trastornos del lenguaje en comparación con participar en intervenciones convencionales de terapia del habla.
(Estévez <i>et al.</i> , 2021)	A Case Study of a Robot-Assisted Speech Therapy for Children with Language Disorders	Robot NAO	explorar el potencial del uso de un robot social en las intervenciones de terapia del habla en niños.	Estudio de caso descriptivo y exploratorio que involucra la intervención para el trastorno del lenguaje en cinco niños con diferentes necesidades con una edad que oscila entre 9 y 12 años. Los niños participaron en sesiones con un robot tipo NAO en sesiones individuales	Los resultados mostraron el potencial que tiene NAO en terapia y educación para niños con diferentes discapacidades.
(García-Ruiz & Santana-Mançilla, 2020)	Towards a Usable Serious Game App to Support Children's Language Therapy	APP InTense	Apoyar la terapia del habla y el lenguaje de los niños, enfocado en los tiempos verbales del idioma inglés.	Se realizó el diseño y desarrollo de un software móvil que se ejecuta en una tableta.	InTense es actualmente un prototipo digital con los menús principales, los ejercicios fonaudiológicos y el videojuego ya implementado. Los menús y otras interfaces deben mejorarse en un desarrollo posterior iteraciones

Uso de tecnologías interactivas en la práctica fonoaudiológica para el lenguaje infantil

Autor	Título	Herramienta	Objetivo	Metodología	Resultados
(Guamán <i>et al.</i> , 2018)	SLT-Game: Support System for Therapies of Children with Communication Disorders	APP SLT-Game	propone una aplicación de asistencia para las terapias del lenguaje y el habla, dirigidas a niños.	El sistema fue utilizado 15 por niños entre 4 y 7 años, se evaluó la usabilidad del sistema, aplicando un cuestionario.	Los resultados obtenidos indican que el sistema de apoyo al tratamiento del habla y lenguaje es altamente usable, cómodo y sin complejidad de manipulación.
(Lorusso <i>et al.</i> , 2018)	Exploring the learnability and usability of a near field communication-based application for semantic enrichment in children with language disorders	APP Con NFC	Determinar usabilidad y la capacidad de aprendizaje de actividades basadas en dispositivos móviles diseñadas para niños con problemas de lenguaje con el fin de mejorar sus conocimientos y habilidades léxico-semántico	Intervención a catorce niños de 4 – 6 años con diagnóstico trastorno del lenguaje, usando la herramienta durante una sesión de terapia de 45 minutos. Se registraron y calificaron las reacciones y comentarios.	El sistema demostró ser fácil de entender y aprender, así como atractivo y gratificante. El éxito del dispositivo probablemente se basa en la integración de tecnología inteligente y objetos reales y tangibles.
(Baea <i>et al.</i> , 2018)	Development of a Platform for Augmented Reality-Based Speech Language Therapy	APP Realidad Aumentada (RA)	Desarrollar un programa para la terapia del lenguaje del habla basada en RA tabletas y comparar los efectos de la intervención con RA y tarjetas con imágenes.	Comparación de dos métodos de intervención para aumento del vocabulario, con RA y con tarjetas de imágenes.	Ambas intervenciones mostraron un aumento en el vocabulario, sin embargo, las intervenciones basadas en la realidad aumentada mostraron una mayor precisión de vocabulario
(Astudillo Jaramillo <i>et al.</i> , 2018)	Características del nivel semántico del lenguaje en niños de 37 a 47 meses de edad posterior al uso del software EPI 2018	Software EPI	Determinar las características del nivel semántico en niños de 37 a 47 meses de edad, posterior al uso del EPI en el Hogar infantil Caucanitos	Se analizaron dos grupos, a los cuales se les aplicó una evaluación inicial y una final para determinar el nivel semántico, resaltando que solo un grupo fue estimulado con el software EPI.	Se confirma la pertinencia del uso del software EPI, ya que los usuarios estimulados presentaron cambios, en comparación a los niños no estimulados.

Autor	Título	Herramienta	Objetivo	Metodología	Resultados
(Fines-tack <i>et al.</i> , 2020)	Using Computerized Language Analysis to Evaluate Grammatical Skills	Software: DSS IPSyn	Describir la utilización de IPSyn y DSS en el análisis de muestras de lenguaje, realizar diagnóstico y desarrollar objetivos de tratamiento.	Análisis de muestras de lenguaje	El uso de los Computerized Language Analysis IPSyn y DSS resulta útil para apoyar las evaluaciones de lenguaje gramatical, también pueden ser utilizadas para ayudar al diagnóstico, desarrollar objetivos de tratamiento y monitorear el progreso en estos objetivos.
(Roberts <i>et al.</i> , 2022)	How to Use the Index of Productive Syntax to Select Goals and Monitor Progress in Preschool Children	Software IPSyn	Describir la puntuación de IPSyn a partir de transcripciones de muestras de lenguaje.	Se utilizaron dos transcripciones de estudios de caso, en la que se califica completamente en IPSyn con explicaciones detalladas.	El IPSyn es una herramienta práctica y valiosa para la evaluación de la sintaxis de niños en edad preescolar.
(Roberts <i>et al.</i> , 2020)	Machine-Scored Syntax: Comparison of the CLAN Automatic Scoring Program to Manual Scoring	Software CLAN	Determinar la precisión de CLAN en comparación a la puntuación manual	Se utilizaron veintiseis transcripciones de 10 niños, se compararon las medidas de la diferencia absoluta de puntos y la precisión punto a punto, así como los puntos dados erróneamente y perdidos.	El programa CLAN mostró resultados relativamente inexactos en comparación con la calificación manual.
(Abuelmakarem <i>et al.</i> , 2022)	Computer-aided therapy using automatic speech recognition technique for delayed language development children	computer-aided therapy CAT	Desarrollar una aplicación de terapia asistida por computadora (CAT) para ayudar a los niños que sufren de retraso en el desarrollo del lenguaje a mejorar su lenguaje	Intervención del léxico utilizando CAT en niños con y sin retraso del lenguaje.	El sistema implementado logró una alta tasa de reconocimiento del vocabulario en los niños con retraso del lenguaje y en mayor proporción en los niños con desarrollo típico.

Autor	Título	Herramienta	Objetivo	Metodología	Resultados
(Rincón <i>et al.</i> , 2018)	Creating a Software Product Line of Mini-Games to Support Language Therapy	Línea de productos de software (SPL)	Transferir actividades que los terapeutas realizan con objetos físicos a una herramienta tecnológica	Participaron 6 niños y 1 terapeuta, se realizó terapia individual con los minijuegos. Se aplicó una evaluación preliminar de la facilidad de uso percibida y la utilidad percibida del portal del terapeuta y del portal del niño.	Los niños participaron en los minijuegos sin dificultades, además, mostraron interés en la apariencia visual de los minijuegos. El terapeuta opina que los minijuegos resultantes ayudarán a mejorar las habilidades de los niños.
(Owens Jr & Pavelko, 2020)	Sampling Utterances and Grammatical Analysis Revised (SUGAR): Quantitative Values for Language Sample Analysis Measures in 7- to 11-Year-Old Children	Página web SUGAR	Investigar si las medidas lingüísticas, como la longitud media de los enunciados, el número total de palabras, las cláusulas por oración y las palabras por oración, mostraron cambios relacionados con la edad en niños con desarrollo del lenguaje típico.	Se recolectaron cincuenta muestras de lenguaje conversacional de expresión utilizando un protocolo de muestreo de lenguaje.	Los datos sugieren que SUGAR ofrece un conjunto de medidas que pueden usarse para evaluar las habilidades del lenguaje conversacional de los niños desde preescolar hasta la escuela primaria.

Nota. Elaboración propia (2023).

Con base en las investigaciones revisadas, se describen las herramientas seleccionadas:

Robot

La terapia del lenguaje asistida por robots puede ofrecer una experiencia más interesante e interactiva para los niños que la terapia tradicional, y puede ayudar a los niños a mejorar su motivación y compromiso con el proceso de terapia de lenguaje y del habla.

Robot RASA

Rasa puede ser programado para comprender y analizar el habla de los pacientes, identificando sus necesidades y desafíos específicos en el lenguaje. El robot puede proporcionar retroalimentación en tiempo real, corregir errores y ofrecer ejercicios adaptados para mejorar las habilidades lingüísticas. Además, Rasa puede actuar como

un compañero de conversación para los pacientes, brindando un entorno interactivo y motivador para practicar el lenguaje. El robot puede participar en juegos de palabras, actividades de narración y ejercicios de comprensión, ayudando a los pacientes a desarrollar y fortalecer sus habilidades lingüísticas de manera divertida.

La ventaja de utilizar un robot como RASA en la terapia del lenguaje, es que puede proporcionar una interacción constante y consistente, adaptándose a las necesidades individuales de cada paciente. También puede recopilar datos sobre el progreso del paciente, lo que permite a los terapeutas evaluar el rendimiento y ajustar el enfoque de tratamiento de manera más precisa

Esfandbod *et al.*, (2023) investigaron dos grupos de niños con trastornos del lenguaje para evaluar la eficacia de la utilización de robots sociales como herramientas de asistencia en la terapia del habla. El primer grupo (el grupo de intervención) se inscribió en las intervenciones Robot-Assisted Speech Therapy RAST, mientras que el segundo grupo (el grupo de control) participó en sesiones convencionales de terapia del habla. El robot RASA interactuó con los niños de varias maneras, es decir, enseñando la pronunciación correcta de las palabras mediante sincronización de labios, proporcionando un sistema de recompensa y castigo expresando diferentes estados emocionales, haciendo múltiples preguntas y guiando a los niños a responder amablemente las preguntas del terapeuta. Cinco tareas frecuentes se realizaron en cada sesión de terapia del habla para ambos grupos de participantes para facilitar el desarrollo del lenguaje oral de los niños.

Descripción de imágenes: Pedir a los niños que describan con precisión los componentes en la imagen

Narrativa oral: Pedir a los niños que generen una narrativa en respuesta a un libro de imágenes sin palabras

Comprensión sintáctica: Pedir a los niños que cuenten nuevamente la historia objetivo utilizando oraciones completas, así como hacer y responder una amplia variedad de preguntas

Identificación de imágenes: Pedir a los niños que respondan señalando una de las doce imágenes después de cada presentación de estímulo

Imitación oral: Pedir a los niños que imiten palabras específicas que se encuentren en diferentes categorías de sílabas

Robot NAO

NAO es un robot humanoide debido a que sus características físicas se asemejan a las de un humano, es programable diseñado para la educación, la investigación y el entretenimiento. Fue desarrollado por la empresa francesa Aldebaran Robotics (ahora

SoftBank Robotics) y lanzado en 2006 (Ortiz, 2020). NAO es un robot socialmente asistible (SAR) que se usa en varios contextos debido a su multifuncionalidad. Ha sido utilizado en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la enseñanza de programación y robótica, la asistencia en la atención médica y la terapia, y la interacción social con niños y adultos. Las características y capacidades del robot NAO, como la motricidad, la funcionalidad y las capacidades afectivas, se han estudiado en varios contextos. También tiene una amplia gama de expresiones faciales, lo que le permite comunicar emociones y crear una experiencia más realista e interactiva. NAO parece beneficiarse tanto para los profesionales que los usarían como para los usuarios que interactuarán con ella (Robaczewski *et al.*, 2021).

Estévez *et al.*, (2021) en su investigación utilizaron NAO en niños con diferentes diagnósticos de trastornos del lenguaje, habla y aprendizaje, relacionados con el lenguaje oral y la alfabetización. Realizaron intervenciones a cinco niños de 9 a 12 años, considerando cada diagnóstico, necesidades y objetivos de cada paciente se establecieron diferentes actividades:

Para los niños con dislalia y dislexia:

- Comprensión lectora: memoria a corto/mediano y largo plazo.
- Alfabetización.
- Narración de cuentos.
- Cuentos.
- Vocabulario.
- Conciencia fonológica.
- Articulación y pronunciación fonética – fonológica.
- Segmentación fonética.

Para los niños con trastorno por déficit de atención:

- Atención.
- Escritura.

Para los niños con trastorno específico del lenguaje:

- Comprensión oral y escrita.
- Lectura y escritura.

Para el módulo de dictados, historias y vocabulario y mejora de la comprensión oral, el objetivo era fortalecer el vocabulario, así como la comprensión escrita y oral. Para lograrlo, NAO le pedirá al niño que cuente una historia y haga preguntas al respecto y haga dictados para verificar la ortografía.

La personalización de las actividades y respuestas del robot es crucial para adaptarse a cada caso, lo cual resulta beneficioso para establecer objetivos individualizados. Sin embargo, esta personalización también revela una limitación: durante la terapia, es necesario que un ingeniero esté presente para programar y dar órdenes a NAO, ya que el terapeuta por sí solo no puede hacerlo. Esta situación conlleva la pérdida de privacidad y la desconexión entre el terapeuta y el paciente.

Aplicaciones móviles APP

InTense

Algoma Games For Health, un estudio de desarrollo de juegos con sede en Sault Ste. Marie, Canadá, creó InTense, una aplicación de juego que se ejecuta en la tablet iPad para ayudar a los fonoaudiólogos a trabajar con niños y desarrollar habilidades lingüísticas, centrándose específicamente en los tiempos verbales en el idioma inglés. InTense permite tanto modos de juego individuales como multijugador. Los fonoaudiólogos registran y guardan los perfiles de los niños (jugadores) en InTense y se almacenan en la tablet, lo que permite recuperarlos para revisar el progreso del jugador. InTense contiene dos componentes principales: la herramienta de fonoaudiólogo y un juego con estilo similar al videojuego Angry Birds. Solo los terapeutas del habla y lenguaje tienen acceso a los menús de configuración, y los niños tienen acceso a las actividades y secciones de juego. Los niños utilizan el juego en presencia de los terapeutas, ya que estos necesitan seleccionar opciones de los menús. No se pretende que los niños lo jueguen solos (García-Ruiz & Santana-Mancilla, 2020).

InTense proporciona:

Desarrollo de habilidades lingüísticas: InTense está específicamente diseñado para ayudar a los niños en el desarrollo de habilidades de lenguaje, utilizando actividades interactivas y juegos que fomentan el aprendizaje y la práctica de verbos en diferentes tiempos verbales.

Colaboración con terapeutas: Los fonoaudiólogos pueden utilizar InTense como una herramienta adicional en su trabajo con los niños. La aplicación les permite capturar perfiles de los niños y realizar un seguimiento de su progreso a lo largo del tiempo. También pueden personalizar las opciones de juego y actividades según las necesidades individuales de cada niño.

Motivación y compromiso: Al presentar los conceptos lingüísticos en forma de juegos interactivos, InTense ayuda a mantener el interés y la motivación de los niños. Esto

facilita la participación y el compromiso con el aprendizaje, lo que puede resultar en una mayor retención y aplicación de los conocimientos adquiridos.

Acceso controlado: InTense garantiza que solo los terapeutas tengan acceso a los menús de configuración, lo que garantiza un entorno seguro y controlado para los niños. Los niños pueden acceder a las actividades y secciones de juego, pero siempre bajo la supervisión y guía de los terapeutas.

Retroalimentación y seguimiento: InTense permite a los terapeutas realizar un seguimiento del progreso de cada niño a través de la revisión de los perfiles almacenados en la tablet. Esto les permite evaluar el rendimiento individual, identificar áreas de mejora y adaptar las intervenciones terapéuticas de manera más precisa

STL GAME

El sistema de STL Game se desarrolló e implementó en un entorno virtual utilizando la tecnología de Unity 3D, con el propósito de crear una aplicación que maximiza la eficiencia en el uso de materiales, infraestructura, recursos temporales y otros aspectos.

El juego está compuesto por 5 módulos distintos. En el módulo de audición, los jugadores participarán en actividades que les ayudarán a identificar y discriminar auditivamente diferentes sonidos. El módulo de formulación lingüística se enfoca en ejercicios de inhalación y exhalación, así como en ejercicios de respiración. Por otro lado, en el módulo de lenguaje expresivo los jugadores realizan la construcción de frases basadas en una palabra, así como en actividades diseñadas para reforzar la estructura gramatical. El módulo de lenguaje receptivo incluye actividades que se dividen en dos tipos: la organización de figuras para formar secuencias y el razonamiento lógico. Finalmente, el módulo de estructura y función oral se centra en ejercicios que involucran movimientos de la lengua y ejercicios con los labios (Guamán *et al.*, 2018).

App con Near Field Communication (NFC)

El sistema comprende una tableta que aloja una aplicación educativa y de capacitación, la cual está equipada con un lector de comunicación de campo cercano (NFC por sus siglas en inglés), para interactuar con el usuario a través de objetos.

La aplicación combina el uso de una tableta, un grupo de juguetes (por ejemplo, pequeños animales de plástico), se colocó una etiqueta NFC debajo de cada juguete, la aplicación reconoce las etiquetas NFC ubicadas debajo de las patas de los animales de juguete y permite al usuario elegir entre varias actividades, como leer o escuchar páginas web informativas, resolver rompecabezas, disfrutar de cuentos, ver imágenes o escuchar canciones.

Cuando el usuario elige una opción del menú, se abre de manera aleatoria uno de los sitios web predefinidos. La opción “Información” proporciona una o más páginas web con información científica y enciclopédica básica sobre el animal, que se pueden leer o escuchar utilizando la herramienta de texto a voz. La opción “Historia” brinda acceso a uno o más sitios web donde se pueden leer historias relacionadas con el animal (también disponibles para escuchar). La opción “Imagen” muestra diversas imágenes y fotografías del animal objetivo. La opción “Canción” permite al usuario reproducir una canción relacionada con el animal objetivo. Por último, la opción “Puzzle” muestra juegos de rompecabezas en los que se puede ajustar el número y la forma de las piezas. (Lorusso *et al.*, 2018)

APP con Realidad Aumentada

La realidad aumentada es una tecnología desarrollada que ofrece la posibilidad de integrar modelos 3D, con el fin de propiciar la interacción del mundo real mediante el uso de una tarjeta de imagen con un entorno virtual. (García Aguilar & Alor Hernández, 2020). Esto permite manipular objetos y presentar modelos con movimiento. Para aprovechar al máximo estas características, puede resultar beneficioso utilizarla para aprender verbos que representan movimientos dinámicos o expresiones emocionales limitadas presentes en la tarjeta de imagen en un plano.

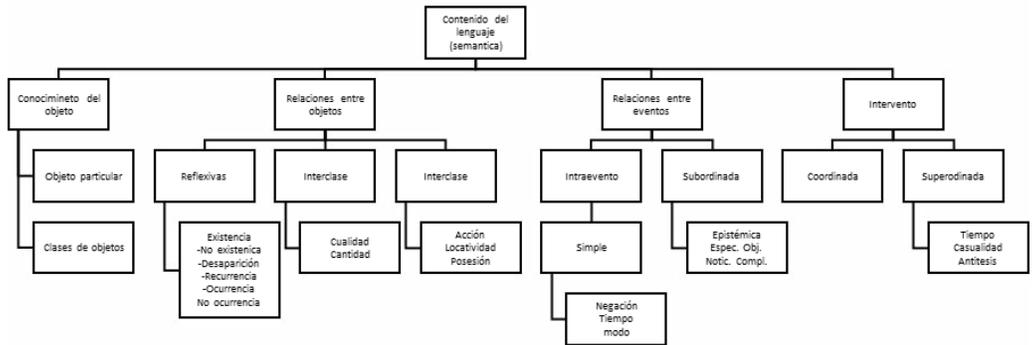
La plataforma en aplicación de realidad aumentada se ejecuta en dispositivos móviles o tabletas, utiliza la tecnología de reconocimiento de imágenes para superponer elementos virtuales en tiempo real sobre objetos físicos, como tarjetas o imágenes. Se incorporaron tarjetas con imágenes relacionadas con vocabulario específico o situaciones comunicativas. Al colocar la cámara del dispositivo sobre la tarjeta, se activaban los elementos virtuales, como personajes animados u objetos. Estos elementos virtuales eran utilizados como estímulos para trabajar diferentes aspectos del lenguaje, como la comprensión, la expresión oral y la articulación. Los pacientes interactuaban con los elementos virtuales a través de gestos, movimientos o respuestas verbales. La utilización de la realidad aumentada permitió crear un entorno de aprendizaje dinámico y atractivo, brindó una experiencia inmersiva donde los pacientes podían visualizar y manipular objetos virtuales en tiempo real, esto proporcionaba una experiencia más motivadora y significativa, facilitando el aprendizaje, el desarrollo lingüístico y la práctica de habilidades lingüísticas (Baea *et al.*, 2018).

Software Educativo y Programa Interactivo (EPI)

El desarrollo de un software educativo y programa interactivo enfocado en el nivel semántico del lenguaje es el resultado del Proyecto Docente registrado en la Vicerrectoría

de Investigación de la Universidad del Cauca. Este software ha sido creado y diseñado basándose en los contenidos del lenguaje semántico, los cuales se presentan a continuación de manera visual a través de un mapa conceptual (ver Figura 2).

Figura 2. Contenidos del lenguaje semántico.



Nota. Tomado de características del nivel semántico del lenguaje en niños de 37 a 47 meses de edad posterior al uso del software EPI (p. 32), por Astudillo *et al.* (2018).

El software ofrece una variedad de actividades diseñadas para estimular de manera efectiva el desarrollo semántico en cada uno de sus componentes, siguiendo un orden evolutivo. Estas actividades se llevan a cabo mediante el uso de símbolos fotográficos, lo que favorece tanto la estimulación visual como el aprendizaje del niño de manera significativa. A continuación, se presentan las actividades:

CONOCIMIENTO DEL OBJETO: se da la nominación general o específica. (de 18 a 24 meses)

Objeto particular: Ejercicios de nominación de objetos.

Clases de objetos: Desarrolla nociones de identidad y equivalencia

RELACIONES ENTRE OBJETOS (de 18 a 24 meses)

Reflexivas: Relación de un objeto consigo mismo.

Existencia: En este ejercicio se pedirá establecer si un objeto dado está presente en un contexto determinado o si obtiene la atención del niño.

No existencia: En este ejercicio se trabajará con objetos que no están presentes o el niño no los ve y por eso los busca.

Desaparición: En este ejercicio se trabaja con aquellos objetos que han estado antes en el contexto, pero deja de existir o se acaba.

Recurrencia: En este aspecto se trabaja con objetos o eventos que ocurren nuevamente o por segunda vez.

Rechazo

No ocurrencia

RELACIONES ENTRE OBJETOS

Intraclass: Relación de un objeto con otro de la misma clase.

Cualidad: Se especifica una característica del objeto como perteneciente al mismo y no a otro de la misma clase.

Cantidad

RELACIONES ENTRE OBJETOS

Interclass: Relación de un objeto con otro de la misma clase.

Acción: Realización de un acto o un hecho.

Localidad: El niño ubica la localización de un objeto con referencia a su propia posición. Esta localización evoluciona de una localización dinámica (que proviene de una acción), hacia una localización estática)

Posesión: El niño establece la relación de pertenencia

RELACIONES ENTRE EVENTOS (de 2 a 4 años)

Intraevento simple

Negación-veracidad tiempo: tiempo en el que el evento ocurre.

Modo: Forma como ocurre el evento.

RELACIONES ENTRE EVENTOS (de 4 a 7 años)

Intraevento subordinada epistémica: Indica la certeza o incertidumbre de un evento

Especificación del objeto

Noticia complementaria llamado de atención sobre la acción que ocurre en el evento.

RELACIONES ENTRE EVENTOS INTER EVENTO

Coordinada

RELACIONES ENTRE EVENTOS

Interevento

Superordinada: Los eventos se relacionan entre sí de forma dependiente y pueden construir un nuevo significado

Tiempo: Las frases expresan una relación de dependencia refiriéndose a un evento ocurrido previa o simultáneamente a otro.

Causalidad: Las frases expresan una relación de dependencia entre dos eventos.

Antítesis: Las frases expresan una relación de dependencia por una oposición o contradicción entre un evento y otro (Astudillo *et al.*, 2018).

Developmental Sentence Scoring (DSS)

El programa de Desarrollo de Puntuación de Oraciones (DSS, por sus siglas en inglés) es una herramienta utilizada en el campo de la lingüística y la terapia del lenguaje para evaluar y medir el desarrollo gramatical de los niños. El DSS se centra en el análisis de la estructura y complejidad de las oraciones producidas por los niños, considerando factores como la longitud de las oraciones, el tipo de palabras utilizadas y la presencia de estructuras gramaticales específicas. El DSS asigna puntuaciones a las oraciones en función de su nivel de desarrollo gramatical, lo que permite realizar un seguimiento del progreso del niño a lo largo del tiempo y evaluar la efectividad de las intervenciones terapéuticas (Saban-Dülger *et al.*, 2022).

Index of Productive Syntax (IPSyn)

El programa del Índice de Sintaxis Productiva (IPSyn, por sus siglas en inglés) es una herramienta utilizada para evaluar y medir el desarrollo sintáctico de los niños. Se centra en la productividad sintáctica, es decir, en la capacidad de los niños para utilizar y combinar diferentes estructuras gramaticales en sus expresiones lingüísticas. El IPSyn analiza las construcciones sintácticas presentes en las oraciones producidas por los niños, como la concordancia verbal, la utilización de frases complejas y la organización de los elementos gramaticales. A través de un sistema de puntuación, el IPSyn permite evaluar la variedad y complejidad de las construcciones sintácticas utilizadas por los niños, proporcionando información sobre su desarrollo gramatical y su habilidad para expresarse de manera más sofisticada (Altenberg *et al.*, 2018).

Computerized Language Analysis (CLAN)

CLAN es un programa de análisis de datos lingüísticos utilizado en la investigación y el estudio del lenguaje. Fue desarrollado por Brian MacWhinney en la Universidad Carnegie Mellon.

CLAN proporciona una amplia gama de herramientas y funciones para el análisis de datos lingüísticos, especialmente en el ámbito del análisis de conversaciones y narrativas. Permite transcribir, codificar y analizar datos de lenguaje natural de manera eficiente (Roberts *et al.*, 2020).

El programa CLAN trabaja con archivos de texto que contienen transcripciones de grabaciones de voz. Estas transcripciones se crean utilizando una notación especial que incluye símbolos para representar características lingüísticas y paralingüísticas, como

pausas, entonación, gestos, entre otros. CLAN ofrece diversas funciones para realizar análisis lingüísticos, como el cálculo de frecuencias de palabras y estructuras gramaticales, la generación de concordancias, la búsqueda de patrones y la visualización de datos en forma de gráficos y tablas. También permite realizar análisis de longitud de palabras y oraciones, análisis de errores gramaticales y análisis de coherencia y cohesión textual (Roberts *et al.*, 2020; Ratnera & MacWhinneyb, 2023).

CLAN es utilizado por investigadores y lingüistas en diversos campos, como la adquisición del lenguaje, la sociolingüística, la psicolingüística y la lingüística clínica. El programa ha demostrado ser una herramienta poderosa y flexible para el análisis y la interpretación de datos lingüísticos, facilitando la investigación en el ámbito del lenguaje y la comunicación humana.

Computer-Aided Therapy (CAT)

Este enfoque se basa en el uso de programas de software especializados que utilizan algoritmos de reconocimiento automático del habla para analizar y evaluar el habla de los niños. Estos programas pueden identificar y registrar patrones de habla, evaluar la pronunciación, la entonación y otros aspectos del lenguaje. La terapia asistida por computadora utilizando la técnica de reconocimiento automático del habla para niños con retraso en el desarrollo del lenguaje es un enfoque terapéutico que utiliza tecnología informática y técnicas de reconocimiento automático del habla para ayudar a niños con dificultades en el desarrollo del lenguaje.

La terapia asistida por computadora proporciona a los niños actividades interactivas y personalizadas que se adaptan a sus necesidades específicas. Estas actividades pueden incluir ejercicios de pronunciación, repetición de palabras y frases, juegos interactivos de vocabulario y gramática, y actividades de comprensión auditiva. La ventaja de utilizar la técnica de reconocimiento automático del habla es que proporciona una retroalimentación inmediata y precisa a los niños. Los programas de software pueden identificar y corregir errores de pronunciación, ayudando a los niños a mejorar su precisión y fluidez en el habla. Además, estos programas pueden adaptarse al nivel de habilidad y progreso de cada niño, ofreciendo un enfoque personalizado y escalable (Abuelmakarem *et al.*, 2022).

La terapia asistida por computadora puede complementar las intervenciones terapéuticas tradicionales y ser utilizada como una herramienta adicional en el tratamiento del retraso en el desarrollo del lenguaje en niños. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la terapia asistida por computadora no reemplaza la interacción humana y el papel de los terapeutas. Los profesionales de la salud siguen siendo fundamentales en el proceso terapéutico, brindando apoyo, orientación y adaptando las actividades de la terapia asistida por computadora a las necesidades individuales de cada niño.

Línea de productos de software (SPL)

La versión actual de la línea de productos cuenta con dieciocho minijuegos que forman el núcleo central de ese proyecto. Cada minijuego reutilizable admite la parametrización de cinco opciones variables, lo que permite crear 90 minijuegos diferentes. Además, el terapeuta puede asignar más de un minijuego al mismo paciente, o incluso asignar el mismo minijuego con una parametrización diferente. Como resultado, la línea de productos ofrece dos niveles de personalización: el portal del niño y los minijuegos personalizables. Por un lado, en el portal del niño, cada niño tiene su propia sesión en la que interactúa únicamente con los minijuegos personalizados y asignados por el terapeuta. Por otro lado, el segundo nivel es el de los minijuegos personalizables, ya que cada minijuego cambia según la parametrización proporcionada por el terapeuta. Además, incluso si cada minijuego tiene un propósito gramatical específico, con esta línea de productos, el terapeuta puede encontrar varias opciones que se ajustan a las condiciones del paciente, ya que se han desarrollado múltiples minijuegos para mejorar la capacidad de producir descripciones en niños de entre 4 y 6 años. (Rincón *et al.*, 2018)

Sampling Utterances and Grammatical Analysis Revised (SUGAR)

SUGAR se utiliza para recopilar y analizar muestras de habla o escritura de un individuo. Consiste en recolectar una muestra representativa de las expresiones o frases que el individuo produce de manera espontánea en un contexto determinado. Estas muestras se utilizan para analizar y evaluar aspectos gramaticales y estructurales del lenguaje, como la precisión gramatical, la coherencia del discurso y la adecuación léxica.

El análisis SUGAR proporciona información valiosa sobre el desempeño lingüístico de un individuo, especialmente en términos de su competencia gramatical y su capacidad para producir y comprender estructuras lingüísticas correctas, es un método clínicamente aplicable que los terapeutas pueden usar como una parte de una evaluación exhaustiva para identificar de manera eficiente y precisa a los niños con trastorno del lenguaje. Además, los fonoaudiólogos pueden completar el subanálisis de una muestra de lenguaje para identificar objetivos de terapia apropiados, así como para medir el progreso en terapias del lenguaje. (Pavelko & Owens Jr., 2019)

Discusión y conclusión

En esta revisión se identificaron y describieron diferentes herramientas tecnológicas para la estimulación, evaluación e intervención del lenguaje infantil. Además, se analizó el contenido, la efectividad y funcionalidad de dichas herramientas. Para esto, se llevó a cabo una búsqueda de literatura reciente y se exploraron a profundidad once investigaciones.

Esteves *et al.* (2018) resalta el cambio constante de la sociedad, los niños de hoy en día son diferentes a los de hace algunos años, debemos adaptarnos a los tiempos y seguir su ritmo. Los niños que nacen ahora son más activos, curiosos y exploradores. Todo está evolucionando, por lo tanto, es necesario mantenernos actualizados con las nuevas innovaciones o mejoras en los materiales didácticos que ya se utilizan. Asimismo, Lee (2019) señala que cada año se desarrollan nuevas tecnologías, y nuestras vidas dependen cada vez más de la tecnología. En lugar de ignorarlo, debemos adoptar tecnología para aprovecharlo.

Espinoza-Santacruz & Flores-Urgiles (2019) mencionan que las herramientas que proporcionan las tecnologías de información y comunicación para la adquisición del lenguaje, ya sea por déficit en la adquisición del mismo o en su defecto el simple hecho de adquirir un lenguaje ajeno al natural del individuo se ha visto evidenciado con varios proyectos llevados a cabo en el mundo.

Los trastornos del habla y del lenguaje requieren una práctica persistente de aprendizaje de habilidades, y los fonoaudiólogos buscan constantemente formas de mejorar la planeación de la terapia para despertar el interés de los niños en su tratamiento. Los materiales interactivos ofrecen estas posibilidades, ya que son más atractivos para las generaciones más jóvenes y son relevantes para su comportamiento social. (Zajc *et al.*, 2018) Por lo tanto, es importante como lo expresan en su análisis Rodríguez & Rodríguez (2019) destacar la relevancia de la competencia digital en la formación profesional de los fonoaudiólogos. Esto demanda un compromiso por parte de los programas de formación, que implica la enseñanza de estrategias didácticas para fomentar la autorregulación y la autonomía en los estudiantes de esta disciplina, además, resaltan la importancia de diseñar espacios virtuales que faciliten el intercambio de conocimientos y experiencias entre expertos y estudiantes. También enfatizan la necesidad de que los fonoaudiólogos adquieran conocimientos sobre las distintas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y sus requisitos técnicos, tanto para el uso sincrónico y asincrónico. Asimismo, resalta la importancia de manejar los principios éticos relacionados con el uso de los medios tecnológicos y la información proporcionada por los usuarios. Destacan también la importancia de una labor interdisciplinaria que promueva la investigación en el área. En este sentido, enfatizan que poner un mayor énfasis en el desarrollo de estas habilidades digitales permitiría la creación de sistemas, aplicaciones móviles y software para evaluar e intervenir, herramientas que facilitarían el trabajo de los fonoaudiólogos.

A partir de la revisión se encontró que existen múltiples herramientas interactivas como robots, softwares, aplicaciones móviles y páginas web que permiten estimular, evaluar e intervenir el lenguaje en población infantil. En el ámbito de la atención fonoaudiológica, se han desarrollado diversas herramientas basadas en tecnologías de la

información y la comunicación (TIC) que tienen como objetivo respaldar los procesos terapéuticos. En la actualidad, se pueden encontrar aplicaciones móviles dirigidas a la rehabilitación de trastornos del habla y del lenguaje en personas de diferentes grupos etarios, tanto adultos como niños (Vaezipour *et al.*, 2020) (Espinoza-Santacruz & Flores-Urgiles, 2019); (Furlong *et al.*, 2018); (McClure *et al.*, 2018) que han mostrado ser beneficiosas en procesos de rehabilitación y ambientes educativos, logrando mejorar la adherencia a la terapia, dinamizar las sesiones y aumentar el compromiso y la motivación de los pacientes (Heyman, 2020)

Astudillo *et al.*, (2018) indican que el uso de software facilita los procesos de comprensión y atención debido a que es una herramienta que resulta para los niños dinámica y a la vez interactiva, logrando así mejorar los procesos del lenguaje oral. Esta herramienta permite la interacción bidireccional con el lenguaje, estableciendo nuevos medios didácticos, llamando la atención de los niños lo cual favorece el aprendizaje.

Los hallazgos de Heyman (2020) indicaron que los fonoaudiólogos consideran las aplicaciones como una herramienta atractiva y motivadora para la terapia, ya que pueden facilitar los objetivos de intervención. Es importante evaluar cuidadosamente el contenido específico y las características de diseño de las aplicaciones en relación con los principios subyacentes de intervención lingüística, aprendizaje multimedia y aprendizaje para garantizar una terapia del lenguaje efectiva.

Diversas investigaciones como la realizada por Kumazaki *et al.*, (2018) resaltan el potencial de los robots para fomentar ciertos aspectos de la conversación y la interacción, de igual forma Barrio (2019) indica que el uso de robóticos brinda la oportunidad de llevar a cabo intervenciones logopédicas de manera lúdica, lo que resulta motivador y atractivo para los usuarios. Esto se traduce en grandes beneficios para su aprendizaje, ya que su atención y participación aumentan significativamente. Por otro lado, investigaciones como la de Dawe *et al.* (2019) sugieren los robots sociales muestran una gran promesa y potencial para brindar apoyo a los niños en entornos de atención médica, sin embargo, es necesario llevar a cabo investigaciones de mayor calidad que utilicen diseños experimentales y muestras más amplias para obtener resultados más sólidos. La interacción de personas y robots en una comunicación bidireccional en tiempo real, como esta interacción requiere comunicación, hacer que los robots interactúen con los humanos es difícil a menos que haya un programador presente (Egido-García *et al.*, 2020).

Igualmente, lo señalan Martínez *et al.*, (2021) un equipo interdisciplinario conformado por especialistas en terapia del lenguaje y desarrollo de software debe colaborar estrechamente en todas las etapas de desarrollo de las herramientas. El equipo evalúa minuciosamente cada decisión de diseño que se relaciona con las interfaces de usuario, la línea de productos de software y la implementación de los principales activos

y portales web, teniendo en cuenta su impacto en los objetivos terapéuticos de cada actividad. Asimismo, se busca mejorar continuamente la sinergia entre ambas disciplinas para garantizar una herramienta efectiva y de calidad.

La formación fonoaudiológica debe incorporar el uso de herramientas tecnológicas como una opción complementaria o alternativa en la terapia del lenguaje infantil. Estas herramientas tienen el potencial de ampliar las posibilidades de intervención y mejorar los resultados terapéuticos. Sin embargo, es crucial que su uso esté respaldado por evidencia científica y se realicen más estudios para evaluar su eficacia y beneficios. Los profesionales deben ejercer un criterio adecuado al seleccionar la herramienta adecuada para cada paciente, ya que no todas las tecnologías son igualmente efectivas o apropiadas para todos los casos. Es fundamental realizar una evaluación exhaustiva y considerar las características individuales de cada paciente antes de implementar una tecnología específica.

Los avances tecnológicos en el campo de la fonoaudiología han brindado nuevas oportunidades y desafíos para los profesionales. Por un lado, estas tecnologías pueden mejorar la precisión de las evaluaciones, facilitar la terapia, proporcionar recursos de apoyo y seguimiento, y promover la comunicación y colaboración interdisciplinaria. Por otro lado, estos avances requieren que los fonoaudiólogos adquieran y actualicen constantemente sus habilidades digitales, se familiaricen con las últimas herramientas y técnicas, y se adapten a los cambios tecnológicos en constante evolución.

Referencias

- Abuelmakarem, H. S., Fawzi, S. A., Quriba, A., Elbially, A., & Hisham Kandi, A. (2022). Computer-aided therapy using automatic speech recognition technique for delayed language development children. *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications*, 34(4). <https://doi.org/10.4015/S1016237222500235>
- Acosta, V. M., & Moreno, A. M. (2005). *Dificultades del lenguaje en ambientes educativos: del retraso al trastorno específico del lenguaje*. Barcelona: Masson.
- Altenberg, E. P., Roberts, J. A., & Scarborough, H. S. (2018). Young Children's Structure Production: A Revision of the Index of Productive Syntax. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 46(4), 995-1008. https://doi.org/10.1044/2018_LSHSS-17-0092
- An, K.-m., Kumazaki, H., Yoshikawa, Y., Yoshimura, Y., Ikeda, T., Hasegawa, C., Saito, D. N., Tomiyama, S., Shimaya, J., Ishiguro, H., Matsumoto, Y., Minabe, Y., & Kikuchi, M. (2018). The impact of robotic intervention on joint attention in children with autism spectrum disorders. *Molecular Autism volume*, 9(46). <https://doi.org/10.1186/s13229-018-0230-8>
- Arce-Ruelas, K. I., Alvarez-Xochihua, O., Gonzalez-Fraga, J. A., Martinez-Martinez, E., & Paez-Manjarrez, P. (2021). Design and Evaluation of a Spanish Language Therapy Sup-

- port System. *Journal of Language Teaching and Research*, 12(6), 853-863. <https://doi.org/10.17507/jltr.1206.01>
- Astudillo Jaramillo, A. D., Collazos Muñoz, L. A., Insuasty Huertas, A. I., López Guerrero, L. F., Rivas López, J. J., & Velasco Corpus, M. A. (2018). *Características del nivel semántico del lenguaje en niños de 37 a 47 meses de edad posterior al uso del software EPI 2018*. Universidad del Cauca. <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/1244>
- Baea, I. H., Leeb, J. A., Parkc, H. J., & Kwond, S. B. (2018). Development of a Platform for Augmented Reality-Based Speech Language Therapy. *Communication Sciences & Disorders*, 23(2), 462-476. <https://doi.org/10.12963/csd.18504>
- Barrio Méndez, M. (2019). *Robótica y TEA: Propuesta de Intervención Logopédica (Trabajo de Fin de Grado)*. Universidad de Valladolid, Facultad de Medicina. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/36963>
- Belloch Ortí, C. (2002). *Los recursos tecnológicos en Logopedia*. <https://www.uv.es/>: <https://www.uv.es/bellochc/pdf/NRTLogo1.pdf>
- Costa, C. H., & Molini-Avejonas, D. R. (2020). A construção de um aplicativo para uso dos pais na intervenção fonoaudiológica. *CoDAS*, 32(5). <https://doi.org/0.1590/2317-1782/20202019123>
- Dawe, J., Sutherland, C., Barco, A., & Broadbent, E. (2019). Can social robots help children in healthcare contexts? A scoping review. *BMJ Paediatrics Open*, 3(1). <https://doi.org/10.1136/bmjpo-2018-000371>
- Egido-García, V., Estévez, D., Corrales-Paredes, A., Terrón-López, M.-J., & Velasco-Quintana, P.-J. (2020). Integration of a Social Robot in a Pedagogical and Logopedic Intervention with Children: A Case Study. *Sensors*, 20(22), 6483. <https://doi.org/10.3390/s20226483>
- Esfandbod, A., Rokhi, Z., Meghdari, A. F., Taheri, A., Alemi, M., & Karimi, M. (2023). Utilizing an Emotional Robot Capable of Lip-Syncing in Robot-Assisted Speech Therapy Sessions for Children with Language Disorders. *International Journal of Social Robotics*, 15, 165–183. <https://doi.org/10.1007/s12369-022-00946-2>
- Espinoza-Santacruz, F. J., & Flores-Urgiles, C. H. (2019). Aplicación de tecnologías de la información en el desarrollo del lenguaje de niños con dificultades de comunicación. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 4(5), 116-137. <https://doi.org/10.23857/pc.v4i5.968>
- Esteves Fajardo, Z. I., Avilés Pazmiño, M. I., & Matamoros Dávalos, Á. A. (2018). La estimulación temprana como factor fundamental en el desarrollo infantil. *Espirales*, 2(14). <https://doi.org/10.31876/re.v2i14.229>
- Esteves Fajardo, Z. I., Garcés Garcés, N., Toala Santana, V. N., & Poveda Gurumendi, E. E. (2018). La importancia del uso del material didáctico para la construcción de aprendizajes significativos en la Educación Inicial. *INNOVA Research Journal*, 3(6), 168-176. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6777534>

- Estévez, D., Terrón-López, M.-J., Velasco-Quintana, P. J., Rodríguez-Jiménez, R.-M., & Álvarez-Manzano, V. (2021). A Case Study of a Robot-Assisted Speech Therapy for Children with Language Disorders. *Sustainability*, 13(5), 2771. <https://doi.org/10.3390/su13052771>
- Feldman, H. M. (Agosto de 2019). How young children learn language and speech: Implications of theory and evidence for clinical pediatric practice. *Pediatr Rev*, 40(8), 398-411. <https://doi.org/10.1542/pir.2017-0325>.
- Finestack, L. H., Rohwer, B., Hilliard, L., & Abbeduto, L. (2020). Using Computerized Language Analysis to Evaluate Grammatical Skills. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 51(2), 184-204. https://doi.org/10.1044/2019_LSHSS-19-00032
- Furlong, L., Morris, M., Serry, T., & Erickson, S. (2018). Mobile apps for treatment of speech disorders in children: An evidence-based analysis of quality and efficacy. *PLOS ONE*, 13(8), 1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201513>
- García Aguilar, J. G., & Alor Hernández, G. (2020). *Desarrollo de un generador de juegos serios educativos multi-dispositivo con implementación de realidad aumentada*. <http://repositorios.orizaba.tecnm:8080/xmlui/handle/123456789/166>
- García-Ruiz, M. A., & Santana-Mancilla, P. C. (2020). Towards a usable serious game app to support children's language therapy. *CLHC '19 Human Computer Interaction*(17), 1-4. <https://doi.org/10.1145/3358961.3358978>
- Guamán, A., Álvarez V, M., Sánchez, J. S., & Andaluz, V. H. (2018). SLT-Game: Support System for Therapies of Children with Communication Disorders. *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics*. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-95282-6_12
- Heyman, N. (2020). Identifying features of apps to support using evidence-based language intervention with children. *Assistive Technology*, 32(6), 306-316. <https://doi.org/10.1080/10400435.2018.1553078>
- Irvin, D. W., Bigelow, K. M., Turcotte, A., Eastwood-Tallmon, N., & Wallisch, A. (2019). Talk Around Town: A Mobile Phone Application to Support Parent–Child Talk in the Community. *Families In Society: The Journal Of Contemporary Social Services*, 101(1), 21-33. <https://doi.org/10.1177/1044389419867008>
- Jiménez Rodríguez, J. (2010). Adquisición y desarrollo del lenguaje. En A. Muñoz García, *Psicología del desarrollo en la etapa de educación infantil* (págs. 101-120). España: Pirámide. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/48043797/teorc3adas-y-enfoques-explicativos-sobre-adquisicic3b3n-y-desarrollo-del-lenguaje-libre.pdf?1471185053=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DTeorc3adas_y_enfoques_explicativos_sobre.pdf&Expires=1
- Kumazaki, H., Warren, Z., Swanson, A., Yoshikawa, Y., Matsumoto, Y., Takahashi, H., Sarkar, N., Ishiguro, H., Mimura, M. M., & Kikuchi, M. (2018). Can Robotic Systems Promote

- Self-Disclosure in Adolescents with Autism Spectrum Disorder? A Pilot Study. *Frontiers in Psychiatry*, 9(36). <https://doi.org/10.3389/fpsy.2018.00036>
- Lee, S. A. (2019). Virtual Speech-Language Therapy for Individuals with Communication Disorders: Current Evidence, Limitations, and Benefits. *Current Developmental Disorders Reports*(6), 119–125. <https://doi.org/10.1007/s40474-019-00169-7>
- Lorusso, M. L., Biffi, E., Molteni, M., & Reni, G. (2018). Exploring the learnability and usability of a near field communication-based application for semantic enrichment in children with language disorders. *Assistive Technology*, 31(1), 39-50. <https://doi.org/10.1080/10400435.2016.1253046>
- Martínez Arias, J. C., Álvarez Vargas, G. I., Sierra Galvis, M. V, Pabón, M. C., Linares, D., Castillo, A. D., Portilla, A. Y., & Valeria , A. (2021). SATReLO: A Tool To Support Language Therapies For Children With Hearing Disabilities Using Video Games. *Revista Facultad de Ingeniería*, 99, 99–112. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20200586>
- McClure, C., Cunningham, M., Bull, S., Berman, S., & Allison, M. A. (2018). Using Mobile Health to Promote Early Language Development: A Narrative Review. *Academic Pediatrics*, 18(8), 850-854. <https://doi.org/10.1016/j.acap.2018.07.010>
- Niklas , F, Wirth, A., Guffler, S., Drescher, N., & Ehmig, S. C. (2020). The Home Literacy Environment as a Mediator Between Parental Attitudes Toward Shared Reading and Children's Linguistic Competencies. *Frontiers In Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01628>
- Ortiz Olvera, A. A. (2020). *Control sensorial de la marcha de un robot humanoide*. Tesis Para Obtener el Grado de Doctor en Ciencias En la Especialidad de Control Automático, centro de investigación y de estudios avanzados. <https://repositorio.cinvestav.mx/bitstream/handle/cinvestav/3688/SSIT0016761.pdf?sequence=1>
- Ortiz-Fonseca, M., & Sepúlveda, A. (2004). *Diccionario de Fonoaudiología*. Fundación Universitaria Maria Cano.
- Owens Jr, R. E., & Pavelko, S. L. (2020). Sampling Utterances and Grammatical Analysis Revised (SUGAR): Quantitative Values for Language Sample Analysis Measures in 7- to 11-Year-Old Children. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 51(3), 734-744. https://doi.org/10.1044/2020_LSHSS-19-00027
- Pavelko, S. L., & Owens Jr., R. E. (2019). SUGAR—Sampling Utterances and Grammatical Analysis Revised. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 50(3), 452-456. https://doi.org/10.1044/2018_LSHSS-18-0130
- Ratnera, N. B., & MacWhinney, B. (2023). Assessment and Therapy Goal Planning Using Free Computerized Language Analysis Software. *Perspect ASHA Spec Interest Groups*, 8(1), 19-31. https://doi.org/10.1044/2022_PERSP-22-00156
- Rincón, L., Martínez, J.-C., Pabón, M. C., Mogollón, J., & Caballero, A. (2018). Creating a Software Product Line of Mini-Games to Support Language Therapy. *Communications*

in *Computer and Information Science*, 885, 418–431. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-98998-3_32

- Robaczewski, A., Bouchard, J., Bouchard, K., & Gaboury, S. (2021). Socially Assistive Robots: The Specific Case of the NAO. *International Journal of Social Robotics*, 13, 795 – 831. <https://doi.org/10.1007/s12369-020-00664-7>
- Roberts, J. A., . Altenberg, E. P., Ferrugio, H. R., & Rosenberg, J. E. (2022). How to Use the Index of Productive Syntax to Select Goals and Monitor Progress in Preschool Children. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 53(3), 803-824. https://doi.org/10.1044/2021_LSHSS-21-00096
- Roberts, J. A., Altenberg, E. P., & Hunter, M. (2020). Machine-Scored Syntax: Comparison of the CLAN Automatic Scoring Program to Manual Scoring. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 51(2), 479-493. https://doi.org/10.1044/2019_LSHSS-19-00056
- Rodríguez Hernández, Y., & Rodríguez Jiménez, G. E. (2019). Competencia digital en Fonoaudiología: retos de formación profesional desde los avances tecnológicos. *Revista de Logopedia, Foniatria y Audiología*, 39(4), 192-200. <https://doi.org/10.1016/j.rlfa.2019.04.003>
- Saban-Dülger, N. S., Turan, F., & Özcebe, E. (2022). The Adaptation of Developmental Sentence Scoring and Index of Productive Syntax to Turkish. *Journal of Speech, Language, and Hearing Researc*, 65(3), 1001-1024. https://doi.org/10.1044/2021_JSLHR-20-00637
- Vaezipour, A., Campbell, J., Theodoros, D., & Russell, T. (2020). Mobile Apps for Speech-Language Therapy in Adults With Communication Disorders: Review of Content and Quality. *JMIR Mhealth Uhealth*, 8(10). <https://doi.org/10.2196/18858>
- Xuan, Z., Zainudin, S., & Hamid, B. A. (2019). Interactive book app in bahasa melayu for typically developing children aged from four to six as a speech therapy aid. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 97(14), 3819-3832. <https://www.jatit.org/volumes/Vol97No14/4Vol97No14.pdf>
- Zajc, M., Istenič Starčič, A., Lebeničnik, M., & Gačnik, M. (2018). Tablet game-supported speech therapy embedded in children's popular practices. *Behaviour & Information Technology*, 37(7), 693-702. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2018.1474253>

Utilización de residuos agroindustriales en la elaboración de materiales

Use of Agroindustrial Waste in the Manufacture of Materials

Dayana Paola Morales Escobar¹, Álvaro Ángel Arrieta Almario²

Resumen

Las diversas industrias producen volúmenes significativos de subproductos como parte inherente de sus operaciones, los cuales son difíciles de eliminar, generando preocupaciones ambientales. Entre estos se encuentran los residuos agroindustriales, despertando el interés de los científicos debido a sus componentes biológicos, los cuales pueden ser aprovechados para la elaboración de materiales. Este artículo tiene como propósito recopilar información sobre el aprovechamiento de los residuos agroindustriales para la elaboración de materiales. Para esto, mediante un enfoque cualitativo, en fuentes académicas y científicas, se llevó a cabo una revisión bibliográfica —obtenida de bases de datos como Scopus, Redalyc, Scielo y Dialnet, entre los años 2019-2023— donde fueron seleccionadas 63 mediante métodos de inclusión y exclusión. El análisis de la información permitió identificar que a partir de residuos agroindustriales —como bagazo, cáscaras, orujo, semillas, paja, cenizas, entre otros— se puede elaborar materiales en la industria de la construcción, bioplásticos, biocombustibles, bioadsorbentes, biosurfactantes, nanomateriales y biofertilizantes, permitiendo mitigar los impactos ambientales negativos provocados al ambiente, brindando un valor agregado y encaminando hacia la dinámica de sostenibilidad y economía circular. Lo anterior, permite evidenciar que, aunque ya se han realizado materiales a base de residuos agroindustriales, es importante seguir avanzando en lo que respecta a la investigación e innovación en el área, como un ejercicio de exploración hacia nuevas alternativas.

Palabras clave: residuos agroindustriales, biomateriales, nanomateriales, alternativas, economía circular.

1 Bióloga. Universidad de Sucre. Joven Investigador del Grupo de Investigación Desarrollo e Innovación en Materiales Avanzados DEIMAV de la Universidad de Sucre. Correo electrónico: paolaescobar21@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6184-6734>

2 Doctor en Química Avanzada. Licenciado en Química y Biología. Docente e Investigador del programa de Biología de la Facultad de Educación y Ciencias de la Universidad de Sucre. Correo electrónico: alvaro.arrieta@unisucra.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0610-847X>

Abstract

Various industries produce significant volumes of byproducts as an inherent part of their operations, which are difficult to eliminate, raising environmental concerns. Among these are agroindustrial waste, awakening the interest of scientists due to its biological components, which can be used to produce materials. The purpose of this article is to collect information on the use of agroindustrial waste to produce materials. For this, using a qualitative approach, in academic and scientific sources, a bibliographic review was carried out—obtained from databases such as Scopus, Redalyc, Scielo and Dialnet, between the years 2019-2023— where 63 were selected using research methods. inclusion and exclusion. The analysis of the information allowed us to identify that from agroindustrial waste—such as bagasse, peels, pomace, seeds, straw, ashes, among others—materials can be produced in the construction industry, bioplastics, biofuels, bioadsorbents, biosurfactants, nanomaterials. and biofertilizers, allowing us to mitigate the negative environmental impacts caused to the environment, providing added value and moving towards the dynamics of sustainability and circular economy. The above makes it clear that, although materials based on agro-industrial waste have already been made, it is important to continue advancing regarding research and innovation in the area, as an exercise in exploring new alternatives.

Keywords: agroindustrial waste, biomaterials, nanomaterials, alternatives, circular economy.

Introducción

Las distintas industrias generan grandes cantidades de subproductos y residuos que resultan inherentes a su operación y que difícilmente pueden ser eliminados, generando preocupaciones ambientales y de salud (Abotbina *et al.*, 2022), por lo que los científicos están interesados en el uso de métodos novedosos para su erradicación (Abdelraof *et al.*, 2022). Entre los problemas ambientales y desafíos que enfrentan las industrias se tiene la permanencia prolongada en vertederos, las emisiones de gases de efecto invernadero durante la quema, que contribuyen al cambio climático, los daños irreversibles a los ecosistemas, provocando la pérdida de biodiversidad, contaminación del suelo y del agua (Palve *et al.*, 2021), además del agotamiento de los recursos no renovables debido a su extracción y consumo continuo (Castillo *et al.*, 2021) lo anterior, repercutiendo en el sector salud (Díaz *et al.*, 2022) y así mismo en la economía.

La biomasa residual se produce gracias a la industria forestal y maderera, la agroindustria, procesamiento de alimentos, desechos animales y municipales (Palve *et al.*, 2021), sin embargo, el permitir que éstos recursos sean biodegradados de manera

incontrolada representa una afectación directa al ambiente, por lo que estos han despertado interés para su aprovechamiento debido a sus componentes biológicos, los cuales pueden ser recuperados por medio de distintos procesos de conversión en múltiples productos de valor, encaminando esta práctica a la sostenibilidad, contribuyendo a mantener o mejorar las condiciones sociales y materiales para la salud humana y el ambiente a través del tiempo, sin superar las capacidades ecológicas que la sustentan (Gómez *et al.*, 2019). Con base a lo anterior, surge la necesidad de elaborar biomateriales a partir de fuentes de biomasa animal y vegetal (Alcivar *et al.*, 2022), con potencial innovador, sostenible y biotecnológico (Aguiar *et al.*, 2022). Por esto, es necesario saber qué, para convertir un residuo en un biomaterial, es relevante entender su estructura interna y propiedades, para poder agregar componentes que ayuden a mejorar las características y cumplir con los requisitos necesarios para su posterior uso, logrando optimizar el material y su funcionalidad (Castaño, 2020).

Se hace referencia a la agroindustria como un conjunto de procesos manufactureros que implican la transformación de materias primas agrícolas en productos con valor agregado (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2023), volviéndose la industria alimentaria con uno de los segmentos más sobresalientes y cruciales del sector económico, pero también como una de las mayores productoras de grandes cantidades de residuos (Preciado *et al.*, 2022).

Los residuos agroindustriales se han convertido en objeto de interés por sus características físicas, químicas y biológicas (Aguiar *et al.*, 2022), así mismo por su amplia disponibilidad, renovabilidad, biodegradabilidad y bajo consumo de energía, teniendo un enorme potencial aprovechable de aplicación en las diferentes industrias como la medicina, la construcción, la agroalimentaria, entre otras, mitigando simultáneamente los impactos ambientales negativos, agregando valor al uso de estos residuos y mejorando la economía de las regiones. Es por ello, que este artículo tiene como propósito recopilar información sobre el aprovechamiento de los residuos agroindustriales para la elaboración de materiales.

Composición de residuos agroindustriales

Muchos residuos agroindustriales están compuestos de complejos de polisacáridos, carbohidratos (almidón, azúcar de caña), compuestos polifenólicos, proteínas y lípidos (aceites vegetales (Cornejo *et al.*, 2020). Siendo más específico la biomasa lignocelulósica cuenta con tres polímeros fundamentales como la celulosa (40 %–60 %), hemicelulosa (20 % – 40 %) y lignina (10 %- 24 %), cuyo contenido puede cambiar dependiendo al tipo de planta, cultivo, edad y condiciones climáticas (Khatiwada *et al.*, 2021).

Camino a la dinámica de economía circular

Dentro de todo esto, es pertinente destacar que gracias a estrategias como la elaboración de materiales a base de residuos es posible potencializar y cambiar el enfoque actual de los mercados que se basan principalmente en economías lineales (producir, usar y desechar) y adoptar economías circulares (producir, usar, reciclar), la cual busca mejorar los procesos productivos y de desarrollo por medio de la reducción de la entrada de materias primas verdes, la disminución de los desechos generados en los distintos procesos, mejorando el índice de consumo y disposición de materiales, así mismo la reducción de los costos económicos y los reprocesos en las actividades productivas y de desarrollo para las organizaciones (Castaño, 2020). Una economía cuya finalidad es alcanzar un desarrollo sostenible que promueva la calidad ambiental, prosperidad económica y equidad social, beneficiando tanto a las generaciones de ahora como a las futuras (Maldonado *et al.*, 2022).

Principales Problemas de Contaminación

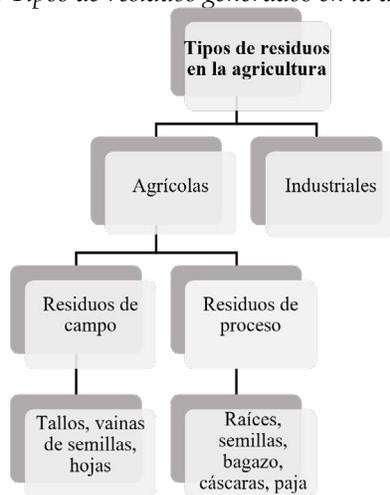
Haciendo énfasis, dentro de los problemas principales de contaminación ambiental está la producción del plástico, que desde los años 50 ha experimentado un crecimiento anual compuesto del 8,4% convirtiéndose en la clase de materiales manufacturados con mayor crecimiento. Los plásticos constituyen uno de los residuos sólidos más significativos, en 2019 la producción global fue de 370 millones de toneladas, proyectando que la cifra aumente a 900 millones de toneladas para el año 2050 (Morales *et al.*, 2023). Asimismo, se espera que la fabricación de este utilice la mitad de la demanda mundial de petróleo en el 2050, provocando emisiones superiores a 56 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}), representando un aproximado del 10-13% del presupuesto de carbono restante (Famiglietti *et al.*, 2023). De acuerdo con lo descrito en Madrid *et al.* (2021) la producción de residuos en Colombia es de aproximadamente 12 millones de toneladas, estimando que 53% proviene de desechos agroindustriales, donde gran parte de esta biomasa contiene altos niveles de aceite, convirtiéndolos en un recurso aprovechable en el sector energético. Según Morales *et al.* (2023) se generan mundialmente aproximadamente 5.5 millones de toneladas de residuos agrícolas cada año, mientras que en Colombia los centros de suministros de alimentos y la industria agroindustrial contribuyen con alrededor 72 millones de toneladas de biomasa residual.

Tipos de residuos en la agricultura

La agricultura ha sido la actividad fundamental en la provisión de productos esenciales convirtiéndose en el sector más importante en varios países. Sin embargo, las industrias relacionadas con agricultura generan gran cantidad de residuos que se derivan

de la producción y procesamiento de los productos agrícolas cada año. Estos residuos se clasifican en agrícolas e industriales, donde los primeros se subdividen en residuos de campo y de proceso. Los residuos de campo hacen alusión a aquellos restos dejados en el suelo después una cosecha, mientras que los de proceso se obtienen, como su nombre lo indica, luego del procesamiento del cultivo para obtener productos de valor como se citan en la Figura 1 (Astudillo *et al.*, 2023).

Figura 1. Tipos de residuos generados en la agricultura.



Nota. En la figura 1 se observa la clasificación de los residuos de la agricultura, su subdivisión y ejemplos. Astudillo *et al.* (2023).

Metodología

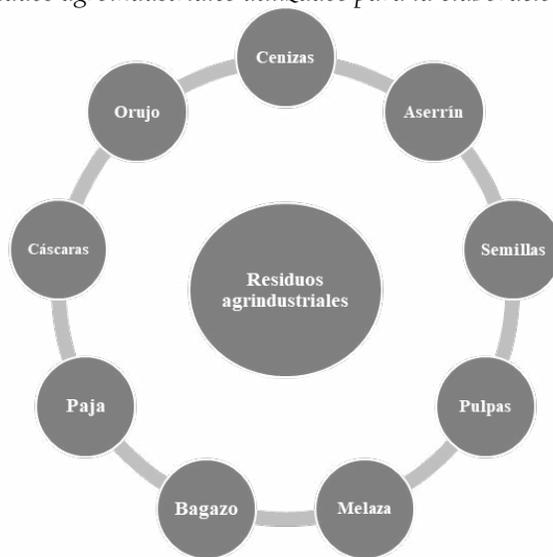
La metodología se basa en un análisis cualitativo, donde se efectuó una búsqueda y recopilación de la literatura mediante la revisión de fuentes científicas, académicas y libros relacionados con la elaboración de materiales a partir de residuos agroindustriales. La búsqueda del material bibliográfico se realizó en el buscador Google Académico y las bases de datos Scopus, Redalyc, Scielo y Dialnet, utilizando palabras clave en español como “residuos” “agroindustrial” y “biomateriales”, y asimismo sus traducciones al inglés. Se consideró solo la literatura de acceso abierto publicada entre los años 2019-2023. Se establecieron criterios de inclusión como el idioma español, inglés y portugués. Del mismo modo, a las áreas temáticas que se relacionaban con las ciencias naturales y exactas, excluyendo a aquellas correspondientes con arte y humanidades, y ciencias sociales. Para llevarlo a cabo, se emplearon los operadores booleanos “AND” y “OR”.

Se identificaron 112 publicaciones durante la búsqueda. Sin embargo, luego de hacer una lectura crítica de la información presentada por cada una, se excluyeron 49.

Resultados y discusión

Los residuos agroindustriales tienen un gran potencial para ser aprovechados en diversas formas, permitiendo la creación de productos novedosos y la generación de valor agregado a productos ya existentes. Como resultado de esta revisión se identificaron los residuos agroindustriales más comunes que se usan de acuerdo con las investigaciones evidenciadas en la Figura 2. Asimismo, los tipos de aprovechamiento, como en la elaboración de productos de interés en la construcción, producción de bioenergéticos como los biocombustibles (biogás, bioetanol, biodiesel y pellets), bioplásticos bioabsorbentes, fabricación de papel, biofertilizantes, biosurfactantes, aglomerados y nanomateriales.

Figura 2. Residuos agroindustriales utilizados para la elaboración de materiales.



Fuente: Elaboración propia.

Construcción

Existe una verdad ineludible y es que la población está experimentando un aumento desmesurado, conduciendo a una creciente urbanización (Enríquez, 2019) y con ello el requerimiento de utilizar materiales de construcción. Si bien sabemos, esta industria tiene un impacto significativo en las emisiones de dióxido de carbono (CO₂)

debido al uso de energía durante la fabricación y el transporte de materiales contribuye al deterioro del ambiente. Por tal motivo, se hace necesario seleccionar adecuadamente materiales de construcción que ayuden a disminuir estas problemáticas. Es por ello que, esta industria se propone como desafío reducir las emisiones que se dan durante la extracción, transporte y producción de materiales (Castaño, 2020).

Con base en lo anterior, en la industria de la construcción se han creado alternativas para contribuir con la eliminación de los residuos agroindustriales, utilizándolos como materiales que reemplazan a los agregados convencionales, es decir, en lugar del agregado fino se pueden utilizar los desechos de tallos de sorgo, cáscara de arroz y maní para mejorar la aislación térmica y resistencia a la compresión. En cuanto al reemplazo del cemento, se pueden emplear desechos de aceituna, cenizas de bagazo de caña de azúcar y cenizas de cáscara de arroz, los cuales pueden mejorar la resistencia a la compresión, la aislación térmica y la permeabilidad. Finalmente, para sustituir la arcilla, se encuentra la paja, aserrín, café molido y papel, que coadyuvan a mejorar la resistencia a la compresión, la absorción del agua, la aislación térmica y la absorción sísmica (Muñoz Pérez *et al.*, 2021). Según lo descrito por Bernal (2019) afirma que con tamo de arroz obtenido del cultivo y el cemento se han elaborado ladrillos, siendo un compuesto adecuado tanto para construcciones nuevas como para edificaciones existentes.

Estos residuos sirven para la elaboración de ladrillos ecológicos, los cuales tienen un impacto ambiental positivo, ya que su fabricación implica una mezcla de suelo, agua y cemento, además de la incorporación del material reciclado como aditivo para reemplazar alguno de sus componentes. Esta mezcla es prensada a una temperatura ambiente y adquiere diferentes características dependiendo del material reciclado utilizado. Mientras que, para el ladrillo tradicional, debido a su proceso de cocción, emite alrededor de 0.41 kg de CO₂ por cada ladrillo producido, considerándose menos amigable para el ambiente. Por lo tanto, este tipo de material se convierte en una solución para personas de bajos recursos económicos y para aquellos que viven en zonas rurales, calurosas y lluviosas, así como para la construcción de viviendas en zonas sísmicas (Muñoz Pérez *et al.*, 2021).

Según lo descrito por Castillo *et al.* (2021) la ceniza que se genera a partir de los residuos agroindustriales es viable utilizarla en la mezcla de concreto, ya que han observado que el material resultante cuenta con propiedades mecánicas óptimas, entre estas las cenizas del bagazo de la caña de azúcar y cenizas de cascarilla de arroz (CCA), que han demostrado ser benéficos en la resistencia del concreto. Asimismo, se ha encontrado que la adición de un 5% de CCA incrementa la resistencia a la compresión del concreto. Lo cual también es afirmado por Couto *et al.* (2019), el cual añade que estas cenizas también son usadas como aditivos minerales en la producción de morteros.

La incorporación de cascarilla de café en mezclas de concreto arquitectónico es factible como reemplazo del agregado grueso, demostrando resistencia, durabilidad, cohesión entre los materiales y homogeneidad en la pigmentación en igual medida que el concreto convencional (Moreno *et al.*, 2022)

Bioplásticos

Los plásticos representan un problema global, en parte se debe al aumento de la población y su conexión con los factores socioeconómicos y culturas que fomentan el uso excesivo de éstos, creyendo que esta misma tendencia paralela la continúe con la producción de alimento (Cornejo *et al.*, 2020).

En promedio, se generan 0.64 kg de residuos por personas a nivel mundial, pero específicamente en Colombia la proporción es mayor, con una producción diaria por persona de 0.95 kg, relacionándose el consumo directamente con plásticos de un solo uso, como pitillos, cubiertos, empaques, envases y tapas. Teniendo en cuenta la vida útil corta y el largo proceso de descomposición se buscan alternativas sostenibles (Castaño, 2020) con el propósito de minimizar los recursos fósiles, la huella de carbono, costos de producción (Chicaiza y Robles, 2021), gases de efecto invernadero, componentes carcinógenos y con contaminación de los diferentes recursos naturales del planeta y la diversidad biológica marina, estimándose alrededor de 8 millones de plásticos que terminan anualmente en los océanos, por lo que se espera que la cantidad siga aumentando debido al amplio uso de productos derivados del petróleo como el polipropileno, el poliestireno y tereftalato de polietileno (Francisco *et al.*, 2021). Como resultado, la creciente preocupación sobre los problemas ambientales globales asociados con los plásticos a base de petróleo ha llevado a un aumento en el interés en las fibras naturales y los biopolímeros como materiales ecológicos (Abotbina *et al.*, 2022).

El almidón se ha convertido en un biopolímero próspero para sustituir los polímeros a base del petróleo, ya que se ha vuelto atractivo por su abundancia, renovabilidad, biodegradabilidad y bajo costo de fabricación en comparación con los procesos petroquímicos. La obtención de almidón termoplástico implica alterar la estructura molecular por medio de técnicas químicas y térmicas, el cual puede ser conformado en forma de película biodegradable y mezclado como compuesto biológico (Cornejo *et al.*, 2020).

Buscando a su vez minimizar los costos de operación de vertederos y desechos municipales. Los almidones más usados para fabricar biopolímeros son los de maíz, patata, arroz, sagú, trigo y yuca. Sin embargo, el almidón cuenta con algunas desventajas como la fragilidad en ausencia de plastificantes, mala resistencia al agua debido a su naturaleza hidrofílica, naturaleza débil y blanda en presencia de plastificantes y el

debilitamiento de las propiedades mecánicas en condiciones de alta humedad, para esto, se han realizado estudios que las fibras naturales como celulosa, hemicelulosa y lignina reforzadas con la mezcla de biopolímeros termoplásticos pueden mejorar las propiedades mecánicas (Abotbina *et al.*, 2022). Debido a esto, se ha prestado una atención especial al uso de los residuos agrícolas como semillas, bagazo y cáscaras, ya que son una fuente potencial de fibras (Francisco *et al.*, 2021). Una de las fibras utilizadas ha sido la fibra de coco (Abotbina *et al.*, 2022). Por otra parte, según Alcivar *et al.* (2022) se generan residuos orgánicos durante la producción y procesamiento del plátano como hojas, pseudotallos, cáscaras y frutos, representando entre el 20 % y 30%. Estos desechos incluyen compuestos valiosos como celulosa, hemicelulosa y almidón, los cuales son beneficiosos en la síntesis de bioplásticos. Se han reportado la síntesis de biopolímeros a partir de plátano y almidón de maíz, así mismo de cáscara de plátano y glicerol y como consecuencia se ha conseguido la producción de bioplásticos. Por su parte, según Álvarez *et al.* (2021) a partir del xiloglucano del polvo de la semilla de tamarindo y acrilato de etilo elaboraron un bioplástico llamado b-XgT con el fin de reemplazar el poliestireno, sometiéndose a compostaje y midiendo el CO₂ liberado, indicando también que se biodegrada a los 18 días, perdiendo el 40,3% de la masa, y cuyo pH final fue de 7.1, lo que significó que los compuestos de xilosa favorecen la degradación del polímero en su totalidad. Según Herrera *et al.* (2020) la cáscara de cacao no contiene tanto almidón como otros residuos, aun así, se puede extraer cantidades significativas para la síntesis de biomateriales mediante hidrólisis ácida del almidón y adición de plastificante, así también, se propone a partir de éstas la extracción de azúcares para su fermentación y producción de ácido poliláctico (PLA), el cual es un polímero biodegradable. Los subproductos de mango, jamaica y café pueden ser una valiosa fuente de fibra que puede incorporarse a los bioplásticos, modificando la capacidad de solubilización y aumento en la absorción de agua, así como la resistencia a la fractura de los biopolímeros (Francisco *et al.*, 2021).

Otros estudios han mencionado el uso de subproductos agrícolas en matrices poliméricas, como la incorporación de yute, fique, agave, bagazo de caña, entre otros mejorando propiedades térmicas y mecánicas y obteniendo una mayor compatibilidad entre los componentes, debido a la hidrofiliidad y el débil entrecruzamiento de las fibras, aumentando la adhesión de los componentes dentro de la matriz (Francisco *et al.*, 2021).

La creación de estos materiales renovables contribuye positivamente al ambiente, al disminuir el uso de plásticos no biodegradables, reducir la necesidad de reciclar desechos plásticos y disminuir la huella de carbono provocada por los materiales derivados del petróleo (Abotbina *et al.*, 2022).

Biosurfactantes

Son sustancias químicas con capacidad de reducir la tensión superficial y disolución de compuestos inmiscibles, las cuales son generadas por microorganismos tanto hidrofílicos, como hidrofóbicos y se han convertido en una alternativa de los tensioactivos de base química en lo que respecta a su biodegradabilidad, siendo menos tóxico y produciéndose a partir de materias prima agroindustriales, coadyuvando a mitigar los peligros ambientales de los tensioactivos comunes, abordando la contaminación ambiental a través de la biorremediación, sin embargo, es importante anotar que para su producción a escala industrial aún se requieren estudios para la formulación y optimización de medios de crecimiento nutricionalmente balanceados (Mehmood, T., 2021).

Es posible producir biosurfactantes utilizando materiales de bajo costo como sustratos, tales como residuos lignocelulósicos que provienen de la poda de plantas, lodos de aceite, glicerol, aceite de soja, salvado de trigo, habas de soja, cáscaras de arroz (Camerini *et al.*, 2019), paja de trigo y arroz, cáscara de coco, bagazo de caña de azúcar y desechos de frutas y verduras (Mehmood, T., 2021).

Biocombustibles

Existe una creciente cantidad de residuos agroindustriales, y hacer frente a esto se ha convertido en un reto. Además, existe la necesidad en todo el mundo de encontrar recursos energéticos alternativos que permitan reducir la dependencia de los combustibles fósiles y promover el desarrollo de una cadena de suministro sostenible (Díaz *et al.*, 2022), debido a que al alto consumo de éstos se asocian gases que son potencialmente peligrosos y son vinculados a los gases de efecto invernadero como dióxido de carbono (CO₂), monóxido de azufre (SO), óxido nítrico (NO), entre otros (Sharma, K., 2021).

El alza del precio del petróleo y la preocupación por su disponibilidad sostenible en conjunto con el deterioro del medio ambiente, han aumentado el interés por los biocombustibles como una alternativa para la obtención de nuevas fuentes de energía (Reyes *et al.*, 2020).

Existen residuos agroindustriales con un considerable potencial para la generación de bioenergía mediante la producción de biocombustibles como biogás, bioetanol, biodiesel y pellets.

Biogás

La digestión anaeróbica es un proceso donde los materiales son descompuestos por microorganismos en ausencia de oxígeno que se utiliza para la generación de biogás,

en conjunto con otras tecnologías, con la capacidad de reemplazar en parte la energía obtenida de los hidrocarburos, lo que ayuda a mitigar el impacto ambiental al proporcionar combustible limpio provenientes de fuentes renovables. En cuanto a la producción y calidad del biogás existen falencias, ya que el biogás crudo contiene metano, dióxido de carbono, ácido sulfúrico y otros contaminantes, coadyuvando a su vez a la corrosión en los motores de combustión interna, para la mejora de esa calidad se encuentra en auge el potencial de usar el biocarbón como aditivo durante la digestión anaerobia (Díaz *et al.*, 2022). Se ha reportado el uso de los ácidos grasos de materias prima como la haba de soja, coco, mostaza, aceitunas, semillas de algodón, jatrofa, karanja, linaza y *neem* para la bioconversión de biogás (Dias *et al.*, 2021).

Bioetanol

Un componente importante en el ámbito del transporte y la industria debido a sus consideraciones como fuente de energía sostenible, renovable y respetuosa con el ambiente es el bioetanol (Sierra *et al.*, 2022), cuyo proceso de síntesis consiste en fermentar pentosas y hexosas presentes en la celulosa y hemicelulosa contenida en los diferentes residuos agroindustriales, desechos sólidos municipales y residuos de jardín (Curbelo *et al.*, 2019; Herrera *et al.*, 2020) utilizando macroorganismos. Es esencial aumentar la producción global de energía renovable para contrarrestar los efectos del cambio climático y disminuir su impacto en las comunidades, por lo que la legislación europea ha establecido la meta de mejorar la eficiencia energética en un 32,5% hasta el año 2030. En sintonía con los objetivos y políticos internacionales por los diferentes países, se ha decidido incluir entre un 20 al 30% de etanol en la gasolina (Fontes *et al.*, 2021), puesto que posee límites de inflamabilidad y calor de vaporización más altos (Palve *et al.*, 2021). La producción de bioetanol basado en el aprovechamiento de residuos agrícolas, forestales y agroindustriales se les conoce como bioetanol de segunda generación (2G) (Cisneros *et al.*, 2020)

La yuca, sus fibras, su almidón (Abovbina *et al.*, 2022) orujo de aceituna, poda de olivo (Fontes *et al.*, 2021) se utilizan como materia prima para la producción de bioetanol y energías renovables. Según Mora *et al.* (2021) se ha empleado la pulpa del café y el mucílago como materias primas para su síntesis, utilizando el microorganismo *Saccharomyces cerevisiae* y melaza proveniente de la caña de azúcar, obteniendo un rendimiento fermentativo de hasta un 77%. Según Barrera *et al.* (2020) el jugo obtenido de las piñas de rechazo, es decir, aquellas que no cumplen con las normas para ser comercializadas, contiene la materia prima y nutrientes necesarios para la producción de este alcohol (Murcia *et al.*, 2020). Las cáscaras de patata, piña, arroz, granos de café, residuos de procesamiento de frutas y maíz (Dey y Bhaskarwar, 2021), orujo de manzana,

cáscaras de plátano, hojarasca y melaza de soja también se han usado para su biosíntesis (Shrestha *et al.*, 2021)

La síntesis de bioetanol 2G puede tener impacto positivo en la economía rural y a su vez traer beneficios sociales, ya que su producción genera empleos, principalmente en la recolección de residuos celulósicos, lo que permite una mejora en la sostenibilidad y la reducción de los GEI (Fontes *et al.*, 2021).

Biodiesel

Un tipo de combustible sostenible es el biodiesel, que consiste en alcoholes alifáticos bajos y ésteres de grupos alquilo con alto contenido de ácidos grasos (Shrestha *et al.*, 2021), cuyo uso es amigable con el medio ambiente tras reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) (Mejía y Cuty, 2019), entre otros contaminantes. Está compuesto principalmente por ésteres metílicos de ácido grasos, obtenidos mediante procesos de transesterificación o esterificación a partir de aceites vegetales (Madrid *et al.*, 2021). Los residuos de aceite de canola, colza, palma, soja, residuos de yuca (Shrestha *et al.*, 2021), residuos de semillas de pimiento y bagazo de caña de azúcar son ideales para la producción de este de biodiesel (Reshmy *et al.*, 2021).

Pellets

Otra alternativa es los biocombustibles, los cuales son elaborados con residuos de fuentes vegetales y animales mediante procesos físicos como la densificación o compactación de la biomasa, esto último coadyuva en las desventajas de los residuos como combustibles, debido a su baja densidad física y energética, así mismo con un mayor poder calorífico que la leña tradicional, no emite olores, se logra encender más rápido y evita la tala indiscriminada de árboles. Este material puede reemplazar al carbón mineral en centrales de generación de energía eléctrica. Algunos de los residuos utilizados han sido cascarilla de arroz, paja de arroz, paja de trigo y paja de frijol. Al utilizar los pellets para combustión y liberar energía, los gases que se producen se emplean para generar energía eléctrica y la captura de CO₂ para biocombustibles líquidos, por otro lado, las cenizas se aprovechan para la elaboración de biomateriales capaces de absorber la radiación solar (Gutiérrez *et al.*, 2020). El pellet es una forma eficiente de energía, favorable para el transporte, almacenamiento y manipulación (López *et al.*, 2021). Los residuos derivados de la palma aceitera como hojas, fibras prensadas, racimos de frutas vacíos y cáscara de los granos también son utilizados, convirtiéndose en una opción para utilizar en centrales eléctricas para la generación de energía y en hornos para calefacción de edificios (Mora *et al.*, 2023).

Papel

La industria del papel además de usar madera para su fabricación, la cual proviene de un 17% de bosques primarios, un 54% de bosques secundarios y un 29% de plantaciones de coníferas y par-árboles de hojas caducas (Ordoñez y Sepúlveda, 2019) también consume agua, energía y químicos que impactan negativamente en el ambiente, por lo anterior, el empleo de alternativas para amortiguar esta problemática ha tomado relevancia, tomando como iniciativa el uso de fibras de plantas no leñosas y crecimiento rápido y residuos agroindustriales para la fabricación del papel, ya que tienen un alto contenido de celulosa, entre estos residuos se encuentra la cascarilla de arroz, la cáscara de piña, la paja de trigo, tallos de palma, el tallo de la planta del tabaco, los pseudotallos del banano y el pinzonte de banano, el cual es la fracción que sostiene el manojito de bananos y que es desechado. Sin embargo, la calidad del papel obtenido es posible mejorarla en la etapa de prensa y secado para reducir el porcentaje de agua y que se alargue su tiempo de vida útil (Alvarado *et al.*, 2021). Esto concuerda con el estudio de caracterización fisicoquímica realizado por Ordoñez y Sepúlveda (2019) del pseudotallo del plátano y el epicarpio del café, indicando que son residuos viables para la fabricación del papel, pero de baja calidad, como el papel periódico, que son de un solo uso, sucediendo por la presencia de lignina y otros compuestos confiriendo un color oscuro, reduciendo su estabilidad y resistencia.

Bioadsorbentes

Otro de los tratamientos empleados para los residuos agroindustriales es la generación de carbón biochar, el cual es un sólido rico en carbono producido con materiales ricos en lignina y celulosa por medio de la descomposición térmica de biomásas a temperaturas relativamente bajas (150 °C -300 °C) y en ausencia de oxígeno dando lugar al pirólisis, siendo ecológica y económicamente llamativa debido a que la energía puede producirse simultáneamente. El biocarbón es eficaz para la captura de carbono reduciendo a su vez las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), para mejorar la fertilidad del suelo ya que actúan como fertilizantes y son amortiguadores del pH del suelo, la adsorción de compuestos y metales pesados. Sin embargo, cuenta con efectos negativos cuando no son tratados como la inmovilización de nutrientes, las emisiones de metano y óxido nitroso, la poca retención de agua en el suelo y la liberación de hidrocarburos policíclicos (HAP) y otros compuestos tóxicos, pero como alternativa para tratar esta situación y aumentar los efectos positivos en el suelo se encuentra el compostaje, puesto que es una técnica amigable con el ambiente, económica y rápida, que permite mejorar la calidad del carbón eliminando los compuestos tóxicos y acelerando la formación de grupos funcionales que contengan oxígeno en la superficie, incrementando la reactividad con la fase mineral del

suelo. Las cáscaras de piña y naranja también han sido utilizadas como materia prima para la producción del biochar, que en su mayoría, las cáscaras de naranja han servido como sorbentes de iones de Pb (II), Cd y Cu (II) para tratar el agua (Chávez *et al.*, 2020). Para este último compuesto la fibra de yute es otro residuo para su remoción (Trujillo *et al.*, 2021). Por otro lado, según Díaz *et al.* (2022) los residuos agrícolas de uva podrían utilizarse para la producción de biocarbón, sin embargo, según el mismo autor, aunque esto represente un gran atractivo y potencial por la gran cantidad de residuos vitivinícolas que se producen, existen muy pocas investigaciones que aborden su uso.

Según Mestanza (2019) la cáscara del plátano es un residuo que sirve como material base para la elaboración de bioabsorbentes con capacidad de remover contaminantes de las aguas residuales de la industria de la curtiembre, como es el Cromo VI, mediante un proceso de lavado, secado, triturado y tamizado, obteniendo un polvo que posteriormente se utiliza en un sistema sólido- líquido (Hernández *et al.*, 2019), así mismo el tallo de palma (Trujillo *et al.*, 2021).

Según lo descrito por Sklivaniotis *et al.* (2023) las raicillas gastadas de cereal es uno de los materiales con capacidad de eliminación de cloro, seguido del grano de oliva, afirmando que la utilización de biochar a partir de estos residuos pueden ser una opción viable y económica para la creación de materiales que permitan la eliminación del cloro en el agua y aguas residuales. La cascarilla de arroz es una alternativa de absorbente eficaz para la remoción de Cr (VI) (Lozano, 2020). Por otra parte, en la industria textil se utilizan grandes cantidades de colorantes provocando aguas residuales contaminadas. Según Martínez *et al.* (2023) el bagazo de la caña de azúcar y la cáscara de naranja tienen una absorción considerable para su uso en aplicaciones industriales; así mismo, el biochar del bagazo y la cascarilla de café (Urrego & Godoy, 2021) son eficientes para la remoción del azul de metileno, mientras que el carbón activado de la cáscara de naranja es más efectivo para el naranja de metilo. Las biomásas lignocelulósicas de mijo, cascarilla de arroz y corteza de nogal negro han demostrado altos niveles de eficiencia en la remoción de Pb (II) y Ni (II) (Tejada *et al.*, 2021).

Biofertilizantes

Dentro de aplicabilidad de los desechos agroindustriales como fertilizantes se destaca la paja de arroz, como un subproducto resultante en el cultivo de arroz que mayormente es usado como alimento para animales o desechado en los campos continuando con su degradación o en el peor de los casos eliminada en procesos de quemas (Bhattacharyya *et al.*, 2020). En los ensayos realizados por Saini *et al.* 2023, la paja de arroz evidencia la presencia del contenido de macronutrientes NPK, mostrando las propiedades de un fertilizante de distribución comercial. Por otro lado, en residuos

producto de la agroindustria de la palma de aceite, se ha identificado en los racimos de los frutos de esta planta, macronutrientes como el C,H,N,S, O y P en porcentajes hasta del 48,9%, 7,86%, 1,82%, 2,21% y 2,03% respectivamente. Con micronutrientes como el Cu, B, Zn, Mn y Fe representados con 26,10,71,88,210 mg/Kg para cada uno de estos, residuos con potencial uso para fertilización en sinergia con los microorganismos promotores del crecimiento vegetal y la investigación de sus características para la mejora de sus rutas biológicas en la producción de estos nuevos biofertilizantes (Mahmud y Chong, 2021). En este mismo aspecto los residuos de la mazorca de maíz a través de procesos de fotofermentación fueron analizados por Zhang *et al.* 2023, demostrándose porcentajes de NRA (Actividad de nitrato reductasa) del 68,76% con un FDF (Colocación profunda de fertilizantes) con capacidad de liberación lenta de N.

Tableros aglomerados

Se ha reportado que se ha usado fibra de raquis de la palma africana mediante el proceso de termocompresión para la fabricación de tableros autoadheridos, y han propuesto el uso del bagazo de la caña de azúcar para la elaboración de tableros aglomerados híbridos. Así mismo, se han empleado los residuos de cáscara de mazorca de cacao debido a sus altos contenidos de lignina, celulosa y hemicelulosa, sin embargo, por su alta capacidad de absorción de humedad, los autores recomiendan realizar un pretratamiento de secado a los residuos y así evitar el hinchamiento del aglomerado (Díaz *et al.*, 2022). Otro subproducto empleado en esta producción es la cascarilla de arroz, documentada como residuo utilizado para la elaboración de estos (Lozano, 2020).

Nanomateriales

La posibilidad de aprovechar la biomasa lignocelulósica para la producción de nanomateriales representa una gran oportunidad para el desarrollo de la nanotecnología, despertando el interés los últimos veinte años por aquellos derivados de la celulosa debido a sus propiedades físicas y químicas como lo es la elevada resistencia a la tracción y módulo de elasticidad, baja densidad, alta superficie específica y superficies reactivas, además, caracterizando estos nanomateriales por su capacidad de renovación y biodegradabilidad, los cuales pueden ser aplicados en materiales electroconductores, ópticos y biomédicos (Du *et al.*, 2019). Se han preparado nanomateriales como los nanocristales de celulosa (1–50 nm) mediante hidrólisis ácida fuerte y para su producción se han empleado residuos agrícolas como la médula del bagazo de la caña de azúcar, el orujo de uva, residuos de corona de piña, cascarilla de arroz, raquis de plátano, hierba norteafricana, la vaina de la hoja de la palma real y fibras de algodón y eucalipto (Hafemman *et al.*, 2019). Por otra parte, los puntos de carbono (CD), los cuales son nanomateriales de carbono cristalino,

3 con geometría cuasiesférica y fluorescente, con alta estabilidad y biocompatibilidad, con tamaño comprendido entre 1- 10 nm, que dependiendo su grado de cristalinidad contienen moléculas de carbono SP³ y SP² en su estructura. De manera interesante, los CD pueden obtenerse no sólo a partir de moléculas puras, sino también de biomasa vegetal sintetizados mediante ultrasonidos, oxidación química, carbonización, procesos solvotérmicos e hidrotérmicos y con aplicabilidad en campos biomédicos como la bioimagen, biodetección, la luminiscencia electroquímica y los fotosensibilizadores. Los precursores de carbono utilizados para sintetizar los CD pueden ser café molido, frutas, verduras, hojas de té y desechos agroindustriales de la yerba mate, semillas de aguacate y cáscaras de naranja (Monje *et al.*, 2021; Jing *et al.*, 2023). Se han implementado métodos de producción verde mediante el uso de biomasa y materiales de desecho como fuente de carbono para la síntesis de grafeno, el cual es una lámina que consiste en átomos de carbono dispuestos en enlaces sp² de forma hexagonal y que tiene un grosor de solo un átomo, conocido como “material del futuro” y ha sido sintetizado a partir de cascarilla de arroz (Ismail *et al.*, 2019). Sumado a esto, se tiene que el interés en la utilización de recursos renovables y biomasa también se ha inclinado por la síntesis de nanopartículas biogénicas por lo que han demostrado que poseen un potencial para ofrecer soluciones a desafíos agrícolas como la disminución del rendimiento de los cultivos provocados por factores de estrés bióticos y abióticos, falta de nutrientes y contaminación ambiental. Se han realizado investigaciones sobre la producción de nanopartículas de plata (AgNPs) usando la cubierta de la semilla de pistacho, residuos de trigo demostrando una acción estimulante de crecimiento debido al aumento del contenido de clorofila y carotenoides (Tolisano y Del Buono, 2023).

Conclusiones

La práctica de la reincorporación de los residuos agroindustriales en la elaboración de biomateriales se encamina a la consolidación de una economía circular que se base en el aprovechamiento del material orgánico desechado como fuente de materia prima en la producción de materiales de importancia en los diferentes sectores de la economía. Es de resaltar que aun con la existencia de estos biomateriales y el uso en general de los residuos agroindustriales, el transitar en la utilización de éstos y sus potenciales en aplicabilidad, requiere el avance en materia de investigación e innovación en el área, como un ejercicio de exploración hacia nuevas alternativas. Además del accionar y la cohesión con los sectores agroindustriales, económicos y el mismo territorio, en miras de la adopción de una circularidad en los procesos de producción que conduzca al desarrollo y beneficio de todas las partes involucradas.

Referencias

- Abdelraof, M., Farag, M. M., Al-Rashidy, Z. M., Ahmed, H. Y. A., El-Saied, H., & Hasanin, M. S. (2022). Green Synthesis of Bioactive Hydroxyapatite/Cellulose Composites from Food Industrial Wastes. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 32(12), 4614–4626. <https://doi.org/10.1007/s10904-022-02462-2>
- Abotbina, W., Sapuan, S. M., Ilyas, R. A., Sultan, M. T. H., Alkbir, M. F.M., Sulaiman, S., Harussani, M. M., & Bayraktar, E. (2022). Recent Developments in Cassava (*Manihot esculenta*) Based Biocomposites and Their Potential Industrial Applications: A Comprehensive Review. In *Materials* (Vol. 15, Issue 19). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ma15196992>
- Aguiar, S., Enríquez Estrella, M., & Uvidia Cabadiana, H. (2022). Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento. *AXIOMA*, 1(27), 5–11. <https://doi.org/10.26621/ra.v1i27.803>
- Alcivar, M. G., Carrillo, K. L., & Rieral, M. A. (2022). Development of a Bioplastic from Banana Peel. *Ingeniería e Investigación*, 42(3). <https://doi.org/10.15446/ing.investig.92768>
- Alvarado, M., Cevallos, M., Alcívar, J., Dueñas, E., & Riera, M. (2021). RESIDUOS DEL BANANO (*Musa paradisiaca*) como materia prima alternativa en la elaboración de papel. *Revista Colón, Ciencias, Tecnología y Negocios*, 8(1), 35–46. <https://doi.org/10.48204/j.colonciencias.v8n1a3>
- Astudillo, Á., Rubilar, O., Briceño, G., Diez, M. C., & Schalchli, H. (2023). Advances in Agroindustrial Waste as a Substrate for Obtaining Eco-Friendly Microbial Products. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 4). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su15043467>
- Bernal, A. & C. L. (2019). *Evaluación de un biocomposito elaborado con residuos agroindustriales del cultivo de arroz (cascarilla y tamo) y su potencial aplicación en viviendas de interés social, Paz de Ariporo, Casanare*. <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/2141>
- Bhattacharyya, P., Bhaduri, D., Adak, T., Munda, S., Satapathy, B. S., Dash, P. K., Padhy, S. R., Pattanayak, A., Routray, S., Chakraborti, M., Baig, M. J., Mukherjee, A. K., Nayak, A. K., & Pathak, H. (2020). Characterization of rice straw from major cultivars for best alternative industrial uses to cutoff the menace of straw burning. *Industrial Crops and Products*, 143, 111919. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111919>
- Camerini, F. V., Chanin, C. do A., Borba, C. M., Costa, J. A. V., Burkert, C. A. V., & Burkert, J. F. de M. (2019). Biosurfactant production by *Phialemonium* sp. using agroindustrial wastes: Influence of culture conditions. *Acta Scientiarum—Biological Sciences*, 41(1). <https://doi.org/10.4025/actasciobiolsci.v41i1.43484>
- Castaño, H. (2020). *EMPAQUES SOSTENIBLES: Aprovechamiento de residuos agroindustriales para disminuir los empaques plásticos de un solo uso*. <http://repositorio.itm.edu.co/browse?type=dateissued>
- Castillo, G., Chavarry, J., Peralta, J., & Muñoz, S. (2021). Uso de residuos agroindustriales en las propiedades mecánicas del concreto: Una revisión literaria. *Revista Ingeniería*, 5(13), 123–142. <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v5i13.86>
- Chávez, E., Aguillón, J., Sánchez, A., & Siebe, C. (2020). Characterization of untreated and composted biochar derived from orange and pineapple peels. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(2), 413–427. <https://doi.org/10.20937/RICA>

- 53591Chicaiza, L., & Robles, J. (2021). Proposal for a circular economy for the recovery of value from fruit waste in packaging manufacturing. *DYNA (Colombia)*, 88(217), 140–149. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n217.91850>
- Cisneros, M., García, J., Mora, J., Martínez, M., García, R., Valdez, J., & Portillo, M. (2020). EVALUACIÓN ECONÓMICA CON OPCIONES REALES: BIOREFINERÍA DE BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN EN VERACRUZ ECONOMIC EVALUATION WITH REAL OPTIONS: SECOND GENERATION BIOETHANOL BIOREFINERY IN VERACRUZ, MEXICO. In *Publicado como ARTÍCULO en ASyD* (Vol. 17). Cornejo, G., Marinero, E., Funes, C., & Toruño, P. (2020). Biopolímeros para uso agroindustrial: Alternativa sostenible para la elaboración de una película de almidón termo plástico biodegradable. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.*, 6(11), 1359–1382. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v6i11.9824>
- Curbelo, C., Véliz, E., & Ameneiros, J. (2019). Alternative pretreatments of rice and tobacco wastes for the production of fermentable sugars. *Revista Facultad de Ingeniería*, 91, 24–30. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n91a-03>
- Dey, N & Bhaskarwar, A. (2021). Bioconversion of Food Waste into Ethanol: A Review. En Inamuddin & Khan, A (Eds.). *Sustainable Bioconversion of Waste to Value Added Products* (p 46). Springer Nature.
- Dias, R., Maroneze, M., de Oliverira, A., Caetano, P., Zepka, L & Jacob-Lopez, E. (2021). Bioconversion of Industrial Wastes into Biodiesel Feedstocks. En Inamuddin & Khan, A (Eds.). *Sustainable Bioconversion of Waste to Value Added Products* (p 115). Springer Nature
- Díaz, A., Ramón, B., & Moreno, G. (2022). Caracterización fisicoquímica de la cáscara de mazorca de cacao como posible uso en la elaboración de tableros aglomerados. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 12(1), 97–106. <https://doi.org/10.19053/20278306.v12.n1.2022.14211>
- Díaz, I., Ancco, M., Peña, G., Ancco, R., Davila, G., & Jiménez, H. (2022). Efectos del biocarbón obtenido a partir de residuos agrícolas de uva en la generación de biogás. *Revista de Investigaciones Altoandinas—Journal of High Andean Research*, 24(4), 278–288. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.4237>
- Du, H., Liu, W., Zhang, M., Si, C., Zhang, X., & Li, B. (2019). Cellulose nanocrystals and cellulose nano fibrils based hydrogels for biomedical applications. *Carbohydrate Polymers*, 209, 130–144. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.01.020>
- Enriquez, M. (2019). *Aprovechamiento de residuos industriales para la obtención de clínker*. https://www.lareferencia.info/vufind/Record/CO_bb36e0954bba0a-4f7de2b01888764c70
- Famiglietti, M., Zannini, D., Turco, R., & Mariniello, L. (2023). Mechanical, Barrier and Thermal Properties of Amylose-Argan Proteins-Based Bioplastics in the Presence of Transglutaminase. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(4). <https://doi.org/10.3390/ijms24043405>
- Fontes, A. V. P., João, I. M., & Silva, J. M. (2021). Multicriteria evaluation of biomass residues in Portugal to second generation bioethanol production. *Production*, 31, 1–14. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20210060>

- Francisco, B., Vidal, isamar, Maldonado, Y., Jiménez, J., Flores, V., Arámbula, G., & Salazar, R. (2021). Efecto de la adición de subproductos agroindustriales en las propiedades físicas de un biopolímero almidón-gelatina. *Biotecnia*, 23(1), 52–61. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i1.1324>
- Gaitán, S., Restrepo, L., Parada, F., & Narváez, C. (2022). Cashew (*Anacardium occidentale*) Nut-Shell Liquid as Antioxidant in Bulk Soybean Oil. *Molecules*, 27(24). <https://doi.org/10.3390/molecules27248733>
- Gómez, J., Sánchez, Ó., & Matallana, L. (2019). Urban, Agricultural and Livestock Residues in the Context of Biorefineries. *Revista Facultad de Ingeniería*, 28(53), 7–32. <https://doi.org/10.19053/01211129.V28.N53.2019.9705>
- Gutiérrez, A., De Lira, J., Quiroz, E., & Martínez, G. (2020). Conversión de residuos agroindustriales para la generación de biocombustibles, productor de valor agregado y bioenergía. *Digital Ciencia@UAQRO*, 3(4), 27–35. <https://revistas.uaq.mx/index.php/ciencia/article/view/41>
- Hafemann, E., Battisti, R., Marangoni, C., & Machado, R. A. (2019). Valorization of royal palm tree agroindustrial waste by isolating cellulose nanocrystals. *Carbohydrate polymers*, 218, 188-198. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.04.086>
- Hernández, L., Majano, G., & Mira, E. (2019). *Elaboración de un material biosorbente a partir de cáscara de plátano (Musa sp.) para ser utilizado en la remoción de Cromo VI proveniente de las aguas residuales de la industria curtiembre*. <https://core.ac.uk/download/pdf/275580232.pdf>
- Herrera, J., Villa, L., Olaya, A., & García, L. (2020). Extracción de almidón de cáscara de cacao *Theobroma cacao* L. como alternativa de bioprospección. *Revista ION*, 33(2), 25–34. <https://doi.org/10.18273/revion.v33n2-2020002>
- Ismail, M. S., Yusof, N., Yusop, M. Z. M., Ismail, A. F., Jaafar, J., Aziz, F., & Karim, Z. A. (2019). Synthesis and characterization of graphene derived from rice husks. *Malays. J. Fundam. Appl. Sci*, 15, 516-521.
- Jing, H. H., Bardakci, F., Akgöl, S., Kusat, K., Adnan, M., Alam, M. J., & Sasidharan, S. (2023). Green Carbon Dots: Synthesis, Characterization, Properties and Biomedical Applications. *Journal of Functional Biomaterials*, 14(1), 27. <https://doi.org/10.3390/jfb14010027>
- Khatiwada, J., Shrestha, S., Sharma, H & Qin, J. (2021). Bioconversion of Hemicelluloses into Hydrogen. En Inamuddin & Khan, A (Eds.). *Sustainable Bioconversion of Waste to Value Added Products* (p 268). Springer Nature.
- López, L., Vega, L., Rendón, C., & Tobón, S. (2021). Caracterización de los residuos de la industria maderera para su aprovechamiento en diferentes aplicaciones. *Ingeniería y Desarrollo*, 38(1), 104–124. <https://doi.org/10.14482/inde.38.1.691.1>
- Lozano, C. (2020). *Alternativas de usos de la cascarilla de arroz (Oriza sativa) en Colombia para el mejoramiento del sector productivo y la industria*. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/33698>

- Madrid, J., Mendoza, D., & Fontalvo, M. (2021). Producción de biodiesel a partir del aceite extraído de almendra del corozo *Bactris guineensis* asistida mediante ultrasonido de sonda directa. *Tecnura*, 25(69), 51–75. <https://doi.org/10.14483/22487638.15809>
- Mahmud, M. S., & Chong, K. P. (2021). Formulation of biofertilizers from oil palm empty fruit bunches and plant growth-promoting microbes: A comprehensive and novel approach towards plant health. *Journal of King Saud University–Science*, 33(8), 101647. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101647>
- Maldonado, A., Maldonado, J., Yela, R., & Moreno, E. (2022). Circular economy and its impact on environmental sustainability. *Centro Sur*. <https://doi.org/10.37955/cs.v6i3.275>
- Martínez, R. J., Vela-Carrillo, A. Z., Godínez, L. A., Pérez-Bueno, J. de J., & Robles, I. (2023). Competitive adsorption of anionic and cationic molecules on three activated carbons derived from agroindustrial waste. *Biomass and Bioenergy*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106660>
- Mehmood, T., Nadeen, F., Qamar, S., Bilal, M & Iqbal, H. (2021). Bioconversion of Agro-Industrial Waste into Value-Added Compounds. En Inamuddin & Khan, A (Eds.). *Sustainable Bioconversion of Waste to Value Added Products* (p 358). Springer Nature.
- Mejía, A., & Cuty, E. (2019). Influencia del biodiésel de aceite de fritura usado, sobre las emisiones: índice de opacidad. *Tecnura*, 23(59), 60–67. <https://doi.org/10.14483/22487638.13722>
- Monje, D. S., Chacon, K. M., Galindo, I. C., Castaño, C., Ballesteros-Rueda, L. M., Valencia, G. C., & Mercado, D. F. (2021). Carbon dots from agroindustrial residues: a critical comparison of the effect of physicochemical properties on their performance as photocatalyst and emulsion stabilizer. *Materials Today Chemistry*, 20, 100445. <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2021.100445>
- Mora, J., Aguilar, F., Carballo, A., Vega, J., Trimino, H., Villegas, L., Stöbener, A., Eixenberger, D., Bubenheim, P., Sandoval, M., & Liese, A. (2023). Tropical agroindustrial biowaste revalorization through integrative biorefineries—review part I: coffee and palm oil by-products. In *Biomass Conversion and Biorefinery* (Vol. 13, Issue 2, pp. 1469–1487). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01442-9>
- Morales, M. A., Maranon, A., Hernandez, C., Michaud, V., & Porras, A. (2023). Colombian Sustainability Perspective on Fused Deposition Modeling Technology: Opportunity to Develop Recycled and Biobased 3D Printing Filaments. In *Polymers* (Vol. 15, Issue 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/polym15030528>
- Muñoz Pérez, S. P., Delgado Sánchez, J. L., & Facundo Peña, L. E. (2021). Elaboración de ladrillos ecológicos en muros no estructurales: una revisión. *Cultura Científica y Tecnológica*, 18(1), 1–9. <https://doi.org/10.20983/culcyt.2021.1.3.1>
- Murcia, J., Ardila, A., & Barrera, R. (2020). Producción de etanol a partir de piñas de rechazo de cultivos del Chocó. *Revista ION*, 33(1). <https://doi.org/10.18273/revion.v33n1-2020005>
- Ordoñez, K., & Sepúlveda, C. (2019). *Caracterización físico química de los residuos del plátano y el café para su posible uso como materias primas en la fabricación del papel*.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (04 de abril de 2023). *Biotecnología agrícola en la agricultura, la silvicultura, la ganadería, la pesca y la agroindustria*. <https://www.fao.org/biotech/sectoral-overviews/agro-industry/es/#:~:text=Las%20agroindustrias%20constituyen%20un%20medio,en%20los%20pa%C3%ADses%20en%20desarrollo>.
- Palve, A., Arukula, R., & Gupta, R. (2021). Bioconversion of biowastes for energy applications. En Inamuddin & Khan, A (Eds.). *Sustainable Bioconversion of Waste to Value Added Products* (pp 1-13). Springer Nature.
- Pérez, C., Juárez, P., Anzaldo, J., Alia, I., Salcedo, E., Guillén, D., Balois, R., López, V., & Castro, R. (2021). Caracterización química de biocarbón de ápices de caña de azúcar elaborado mediante carbonización hidrotérmica y adición de catalizadores orgánicos. *Terra Latinoamericana*, 39, 1–11. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V39I0.936>
- Preciado, A., Canizales, J., Villegas, M., Domínguez, J. A., & González, G. (2022). Aprovechamiento de subproductos de la industria agroalimentaria. Un acercamiento a la economía circular. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 23(2), 92–99.
- Reshmy, R., Philip, E., Madhavan, A., Sindhu, R., Binod, P., Balakumaran, P & Pandey, A. (2021). Potential Utilisation of Fruit and Vegetable Waste: An Overview. En Inamuddin & Khan, A (Eds.). *Sustainable Bioconversion of Waste to Value Added Products* (p 187). Springer Nature.
- Reyes, Y., Arteaga, M., Morejón, Y., & Fuentes, A. (2020). Valoración del potencial energético de los residuos agroindustriales de tomate para su empleo como biocombustible. *Revista Ingeniería Agrícola*, 10(2), 37–44. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28326.32325>
- Saini, S., Kuhad, R. C., & Sharma, K. K. (2023). Valorization of rice straw biomass for co-production of bioethanol, biopesticide and biofertilizer following an eco-friendly biorefinery process. *Process Safety and Environmental Protection*, 173, 823–836. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.03.044>
- Sierra, E., Vargas, A., Moss, C., Trujillo, B., Molina, E., Rosas, A., Valdivia, Á., Hernández, M., Vivaldo, E., & Martínez, A. (2022). Co-Fermentation of Glucose–Xylose Mixtures from Agroindustrial Residues by Ethanologenic *Escherichia coli*: A Study on the Lack of Carbon Catabolite Repression in Strain MS04. *Molecules*, 27(24). <https://doi.org/10.3390/molecules27248941>
- Sharma, K., Toor, S., Shah, A & Rosendahl, L. (2021). Green and sustainable biomass processing for fuels and chemicals. En Inamuddin & Khan, A (Eds.). *Sustainable Bioconversion of Waste to Value Added Products* (p 23). Springer Nature.
- Shrestha, S., Khatiwada, J., Sharma, H & Qin, W. (2021). Bioconversion of Fruits and Vegetables Wastes into Value-Added Products. En Inamuddin & Khan, A (Eds.). *Sustainable Bioconversion of Waste to Value Added Products* (p 150). Springer Nature.

- Sklivaniotis, L. N., Economou, P., Karapanagioti, H. K., & Manariotis, I. D. (2023). Chlorine Removal from Water by Biochar Derived from Various Food Waste Natural Materials. *Environmental Processes*, 10(1). <https://doi.org/10.1007/s40710-022-00617-4>
- Tejada, C., Villabona, Á., Sierra, C., Meza, M., & Ortega, R. (2021). Adsorption in a binary system of Pb (II) and Ni (II) using lemon peels. *Revista Facultad de Ingeniería*, 101, 31–44. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.202006917>
- Tolisano, C., & Del Buono, D. (2023). Biobased: Biostimulants and biogenic nanoparticles enter the scene. *Science of The Total Environment*, 885, 163912. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163912>
- Urrego, W., & Godoy, M. (2021). Aprovechamiento de los residuos de la agroindustria del café en la elaboración de materiales compuestos de matriz polimérica. *Prospectiva*, 19(2). <https://doi.org/10.15665/rp.v19i2.2590>
- Zhang, Z., Ai, F., Li, Y., Zhu, S., Wu, Q., Duan, Z., Liu, H., Qian, L., Zhang, Q., & Zhang, Y. (2023). Co-production process optimization and carbon footprint analysis of biohydrogen and biofertilizer from corncob by photo-fermentation. *Bioresource Technology*, 375, 128814. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128814>



Prácticas investigativas de jóvenes investigadores en Sucre, Colombia Vol. 1
Noviembre, 2023
Sincelejo, Sucre, Colombia

Prácticas investigativas de jóvenes investigadores en Sucre, Colombia

Volumen 2

Los invitamos a sumergirse en un fascinante viaje a través del esfuerzo y la dedicación de veinte jóvenes investigadores del Departamento de Sucre. Este libro trasciende la mera recopilación de sus experiencias, es un testimonio de su inquebrantable compromiso con el conocimiento y su incansable búsqueda de respuestas en un mundo lleno de incertidumbre y desafíos.

A lo largo de un año de intenso entrenamiento, como parte del proyecto “Desarrollo de capacidades y habilidades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación en jóvenes profesionales del Departamento de Sucre”, a través de becas-pasantías de investigación, veinte jóvenes valientes del departamento fueron guiados de la mano experta de investigadores destacados. Estos maestros los acompañaron para convertir su pasión por la ciencia en un vehículo de cambio y progreso para nuestra comunidad.

Cada capítulo de esta obra refleja las reflexiones, inquietudes, expectativas, miedos y vivencias de estos talentosos investigadores, quienes han asumido el timón de su destino y se han convertido en voces influyentes en la construcción de un futuro más prometedor. Su contribución es fundamental para abordar la falta de desarrollo de capacidades y habilidades en Ciencia, Tecnología e Innovación (CTeI) en jóvenes profesionales de la región.

