



Nanotecnología y biopolímeros: Una alternativa sostenible para los empaques y embalajes

Nanotechnology and biopolymers: A sustainable alternative for packaging

Rossy F. Huaman-Moran¹; Vilma Chávez-Huaycuche¹; Crhistian O. Larrea-Cerna²;
David A. Callirgos-Romero³; Daniel E. Alvarado Leon⁴

¹ Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Tayacaja, Perú.

* Autor corresponsal: 72007627@unat.edu.pe (R. F. Huaman-Moran).

ORCID de los autores:

R. F. Huaman-Moran: <http://orcid.org/0009-0003-1779-672X>
C. O. Larrea Cerna: <https://orcid.org/0009-0009-5402-7747>
D. E. Alvarado Leon: <https://orcid.org/0000-0002-0806-0126>

V. Chávez-Huaycuche: <https://orcid.org/0009-0007-6868-9659>
D. A. Callirgos Romero: <https://orcid.org/0009-0004-7428-4154>

RESUMEN

La industria alimentaria enfrenta desafíos para garantizar productos sabrosos, seguros y de alta calidad durante largos períodos. Este estudio aborda el uso de nanotecnología y biopolímeros como soluciones sostenibles para el embalaje de alimentos, en respuesta al problema ambiental causado por los plásticos convencionales. La nanotecnología ofrece envases con propiedades antimicrobianas y de barrera, extendiendo la vida útil de los alimentos. Los biopolímeros, biodegradables y de fuentes renovables, son una alternativa ecológica para el empaquetado. Mediante una Revisión Sistemática de Literatura (RSL), se analiza la aplicabilidad de estas tecnologías en la industria alimentaria, usando métodos como PICOC y análisis bibliométrico para evaluar estudios relevantes. Los hallazgos destacan avances en seguridad y propiedades mecánicas de estos nuevos materiales, pero también señalan desafíos en su implementación a gran escala, incluyendo preocupaciones sobre seguridad y aceptación del consumidor. Se subraya la necesidad de más investigaciones para evaluar la viabilidad industrial y el impacto en la seguridad alimentaria, así como en aspectos económicos y de sostenibilidad a largo plazo. Este enfoque integral busca fomentar el uso de tecnologías sostenibles en el envasado de alimentos, contribuyendo a reducir residuos plásticos y proteger el medio ambiente.

Palabras clave: nanotecnología; biopolímeros; seguridad alimentaria; envases y embalajes.

ABSTRACT

The food industry faces challenges in ensuring tasty, safe and high-quality products over long periods. This study addresses the use of nanotechnology and biopolymers as sustainable solutions for food packaging in response to the environmental problem caused by conventional plastics. Nanotechnology offers packaging with antimicrobial and barrier properties, extending the shelf life of food. Biopolymers, biodegradable and from renewable sources, are an environmentally friendly alternative for packaging. Through a Systematic Literature Review (SLR), the applicability of these technologies in the food industry is analyzed, using methods such as PICOC and bibliometric analysis to evaluate relevant studies. The findings highlight advances in safety and mechanical properties of these new materials, but also point to challenges in their large-scale implementation, including concerns about safety and consumer acceptance. It highlights the need for further research to assess industrial feasibility and impact on food safety, as well as long-term economic and sustainability aspects. This comprehensive approach seeks to encourage the use of sustainable technologies in food packaging, helping to reduce plastic waste and protect the environment.

Keywords: nanotechnology; biopolymers; food safety; containers and packaging.

Recibido: 25-08-2024.

Aceptado: 10-12-2024.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el aumento en el uso de envases tradicionales lidera el consumo de plástico en la industria alimentaria. La industria del embalaje utiliza la mayor cantidad de plástico generado a nivel mundial y es la principal fuente de residuos sólidos acumulados en el medio ambiente (De Kock et al., 2020). Aproximadamente al año, un tercio (1,3 millones de toneladas) de los alimentos producidos a nivel mundial se ven afectados por el deterioro y el desperdicio, debido a fallas en el sistema de envasado (Mustafa & Andreescu, 2020). Es por ello, la tendencia de desarrollar nuevas tecnologías para nuevos empaques y embalajes haciendo uso de biopolímeros que son fácil de degradar y no generan un daño tóxico de manera directa a los alimentos (Barage et al., 2022).

La nanotecnología se centra en el estudio y la manipulación de la materia a nanoscala, un rango que va desde 1 hasta 100 nanómetros. A esta escala microscópica, las propiedades de los materiales cambian drásticamente en comparación con su comportamiento a mayor escala, lo que abre un abanico de posibilidades para el desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones (Correia et al., 2024). Esta tecnología se desarrolla a través de varias etapas clave. Primero, se realiza una investigación y diseño detallados a nivel molecular para comprender y manipular las propiedades de los materiales. Luego, se utilizan técnicas avanzadas como la litografía, la deposición de capas atómicas y la síntesis química para fabricar estructuras a nanoscala. Estos productos se someten a rigurosas pruebas y optimización para asegurar que poseen las propiedades deseadas y son seguros para su uso (Krishna et al., 2022).

En el ámbito de los envases, la nanotecnología ha dado lugar a varios tipos innovadores. Los envases antimicrobianos, por ejemplo, incorporan nanopartículas de plata o cobre, que inhiben el crecimiento de microorganismos y prolongan la vida útil de los alimentos. Los envases barrera utilizan nanocomuestos para mejorar las propiedades de protección contra gases, humedad y luz, lo que mantiene los alimentos frescos por más tiempo. Además, existen envases inteligentes que incluyen nanosensores capaces de detectar cambios en las condiciones del alimento, como su frescura, pH y temperatura, proporcionando información valiosa sobre su estado (Rout & Pradhan, 2024). Estos envases con nanotecnología tienen aplicaciones diversas y significativas. En la industria alimentaria, ayudan a prolongar la vida útil y garantizar la seguridad de productos como carnes, frutas y verduras. En el sector farmacéutico, protegen medicamentos sensibles a la luz y al oxígeno, mejorando su estabilidad y eficacia. En biomedicina, facilitan la administración controlada de medicamentos y permiten el seguimiento del estado de los productos biológicos (Namasivayam et al., 2022).

Así mismo en el desarrollo de la nanotecnología existen estudios sobre la síntesis, caracterización, aplicaciones y evaluaciones de nanomateriales que

han impulsado el avance científico para hacer crecer y alterar toda el área agroalimentaria en los últimos años, debido a sus propiedades únicas, distintas a las de sus homólogos masivos, que abarcan principalmente físicas, químicas y biológicas (Garavand et al., 2020). Las nanoestructuras de celulosa con propiedades fisicoquímicas y antibacterianas se han estudiado ampliamente para diversas aplicaciones, incluido el envasado de alimentos para extender la vida útil de los productos alimenticios envasados (Gervasoni et al., 2023).

En las últimas décadas, los biopolímeros procedentes de recursos renovables han llamado la atención de los investigadores de la industria del embalaje debido a sus numerosas ventajas y su gran potencial para desarrollar productos respetuosos con el medio ambiente (Reichert et al., 2020). Existen muchos estudios que reportan las excelentes propiedades de barrera (humedad, gas, térmica y grasa) de los biopolímeros cuando se aplican en envases en condiciones y concentraciones óptimas de fabricación (Román et al., 2023).

Entre los biopolímeros empleados en el envasado de alimentos, los polisacáridos derivados de plantas, biomasa marina, bacterias u hongos, como el almidón, la celulosa, las hemicelulosas, el quitosano y los alginatos, tienen un gran potencial para ser utilizados como recubrimientos para papel/cartón, recubrimientos comestibles y películas (Evyan et al., 2022). Además, se consideran una matriz adecuada para incorporar compuestos bioactivos y crear materiales bioactivos y sensores en envases activos e inteligentes. Estos materiales también se están utilizando en nanotecnología para mejorar aún más sus propiedades y aplicaciones en el campo del envasado (Sarkar et al., 2023).

Las metodologías PICOC, PRISMA y Bibliometrix aportan varios beneficios significativos a la investigación. PICOC ayuda a estructurar revisiones sistemáticas con precisión, PRISMA mejora la transparencia y reproducibilidad de las revisiones al seguir una guía estandarizada, y Bibliometrix permite un análisis cuantitativo detallado y la visualización de tendencias en la literatura científica. Estas metodologías facilitan la realización de estudios más rigurosos y de alta calidad (Urrutia & Bonfill, 2010).

La presente revisión tiene como objetivo analizar las tendencias actuales en tecnologías de biopolímeros y nanotecnología para envases en la industria alimentaria, dada su relevancia social. Se abordarán los diferentes tipos de tecnologías de envasado y sus características, las tendencias emergentes en este campo, el impacto de la nanotecnología en los envases de alimentos y bebidas, y las soluciones sostenibles para superar las limitaciones de las tecnologías existentes. Esta revisión busca proporcionar un panorama integral sobre el avance y la aplicación de estas tecnologías en el envasado.

METODOLOGÍA

En nuestra metodología se realizará una revisión sistemática con la perspectiva de RSL que tiene como finalidad, compilar, examinar y efectuar búsquedas exhaustivas que tengan la mayor información del tema de estudio. Para ejecutar una Revisión Sistemática Literaria (RSL) se requiere un buen manejo y dominio de buscadores confiables como SCOPUS y múltiples buscadores que aseguren que dicha información brindada sea verídica y relevante, (Halba et al., 2023). Por ende, con la revisión se quiere llegar a encaminar en la búsqueda de la aplicación de nanotecnología y biopolímeros en envases en la actualidad. Así mismo se aplicará una serie de estrategias donde primero se definirá las preguntas específicas para la revisión de la literatura y como segundo paso la extracción de palabras claves para luego plantear las ecuaciones de búsqueda. Para fijar la estrategia de búsqueda de estudios se ha utilizado el método Population, Intervention, Comparison, Outputs, Context (PICOC) que ayudó a desglosar el tema de investigación en palabras clave específicas, con el objetivo de llevar a cabo una búsqueda detallada en la base de datos de Scopus (Cevallos-Culqui et al., 2023).

posterior a ello, se utilizó un análisis bibliométrico que ayudó a comprender la estructura y la evolución del campo científico basándose en datos bibliográficos y citas, facilitando así la toma de decisiones informadas en investigación y desarrollo académico Aria & Cuccurullo (2017c). También se llevó a cabo un modelo PRISMA que detalla la metodología explícita y reproducible para la recopilación y análisis de datos de estudios disponibles. Este enfoque permite identificar, seleccionar y evaluar críticamente las investigaciones pertinentes, como se describe en el estudio de Andreo-Martínez et al. (2022).

Formulación de preguntas de investigación
En el presente trabajo se plantea una estructura sobre la clasificación de los distintos artículos los cuales nos permiten analizar sus distintas cualidades por medio de esta RSL (Cevallos-Culqui et al., 2023). Para poder determinar la estrategia de un búsqueda en nuestro estudio se ha aplicado la metodología de (Population, Intervention, Comparison, Outputs, Context) PICOC, el mismo que respalda a las distintas preguntas de investigación que se plantea para así definir toda la cadena de búsqueda intuitiva (Aragón, 2022). Nuestro estudio se enfoca en la aplicación de la nanotecnología para la transformación de los biopolímeros en nuevos empaques y embalajes amigables con el ambiente el cual nos ha permitido recolectar 307 artículos de investigación.

Pregunta general:

Q1: ¿Cuál es el impacto del uso de la nanotecnología y biopolímeros en los envases y embalajes en la industria alimentaria?

Preguntas específicas:

EQ1: ¿Cómo ayuda la aplicación de la nanotecnología en nuevos envases y embalajes dentro de la industria alimentaria?

EQ2: ¿De qué manera se beneficia la industria de alimentos a través de la aplicación de los biopolímeros en envases y embalajes?

Especificación de palabras clave

Al analizar los artículos seleccionados, se logró clasificar y organizar una diversidad de palabras clave con el mismo significado en inglés y español, como "nanotecnología", "biopolímeros", "industria alimentaria", "biodegradable", y "zona industrial", entre otros. Esta labor de categorización permitió identificar términos relevantes que facilitan la comprensión y el análisis de los contenidos. Para mejorar los resultados de búsqueda, es fundamental emplear estrategias avanzadas, tales como la combinación de palabras clave con operadores booleanos, destacando la importancia de utilizar comillas para búsquedas precisas. La meticulosa selección de las palabras clave más pertinentes para cada sección de la matriz PICOC asegura una búsqueda efectiva y enfocada. Asimismo, el avance tecnológico actual proporciona la capacidad de obtener resultados más precisos y relevantes en las búsquedas en línea (Negro & Pons, 2022).

Formulación y/o selección de ecuaciones y motores de búsqueda

Para la realización de la búsqueda efectiva más específica, es de vital importancia utilizar los términos claves para poder comprender la funcionalidad de los distintos motores de búsqueda específicos (Carrera-Rivera et al., 2022). En nuestra presente investigación los principales motores utilizados para realizar nuestra búsqueda más relevante y de mayor interés están en la base de datos, bibliotecas digitales, revistas de alimentos y afines. Lo cual el principal fue SCOPUS y así mismo se emplearon los operadores booleanos como comillas, comandos de OR y AND siendo estas dos herramientas muy infaltables para poder determinar y mejorar la búsqueda intuitiva en las diferentes bases de datos. Estos dos operadores nos permiten determinar las combinaciones de los términos para mejorar la búsqueda de manera más específica y obtener resultados de mayor impacto y precisos (Ainomugisha et al., 2024).

La estrategia de búsqueda se llevó a cabo de forma individual, considerando los requisitos y limitaciones de la base de datos utilizada, SCOPUS. En casos en los que las publicaciones no pudieron descargarse para la investigación, fueron rechazadas. Esta herramienta ayuda a definir la cadena de búsqueda adecuada e identificar las bases de datos para recopilar la documentación relevante (Mengist et al., 2020). Los resultados de los artículos de investigación, de acuerdo con las ecuaciones y motores de búsqueda seleccionados, se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1
Ecuación de búsqueda

BASES DE DATOS	PALABRAS/ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	Nº DE ARTÍCULOS
SCOPUS	"Biopolymers" OR "Nanotechnology" OR "Packaging" AND "Chitosan" OR "Nanochitosan" OR "Nanomaterials" OR "Nanoencapsulation" OR "Nanocomposites" OR "Bioactive Compounds" AND "food packaging" OR "Nanocellulose" OR "Alginate nanoparticles" AND "Food safety" OR "Biodegradable packaging" AND "Industrial zone" OR "food industry"	176

Nota: En la tabla se muestra la ecuación de búsqueda de palabras claves para una búsqueda más centrada en el tema, obtenida por la metodología scopus.

ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

La bibliometría se está volviendo cada vez más común en todas las áreas académicas. Es especialmente útil para visualizar el mapeo científico en un momento en el que el enfoque en las contribuciones empíricas está dando lugar a corrientes de investigación extensas, fragmentadas y debatidas (Mies, 2024). El mapeo científico puede ser complicado debido a la variedad de pasos y herramientas de software necesarias, algunas de las cuales no son gratuitas. Aunque existen flujos de trabajo automatizados que facilitan este proceso, proponemos el uso de una herramienta de código abierto llamada bibliometrix, creada por los autores, que simplifica el análisis de mapeo científico. Esta herramienta, basada en R, ofrece flexibilidad y fácil integración con otros paquetes estadísticos de R (Aria & Cuccurullo, 2017).

El contenido de 176 artículos, con un crecimiento anual del 16,76%, fue recuperado utilizando la base de datos Scopus. Estos artículos contaron con la contribución de 789 autores, y la coautoría internacional representó el 31,82% del total. Toda la información relevante sobre los datos se presenta en la Figura 1. Se realizaron la extracción, análisis y visualización de datos utilizando el software VOSviewer y el paquete Bibliometrix. Se analizó la producción científica anual por año, las citas promedio por año, la producción nacional a lo largo del tiempo, los países más citados, los documentos más citados a nivel global, los autores más citados localmente, las fuentes citadas más localmente, las afiliaciones más relevantes, los autores más relevantes, los países correspondientes de los autores, las fuentes más relevantes, las palabras más relevantes, el espectroscopio del año de publicación de referencia, la producción de fuentes

a lo largo del tiempo, el mapa de árbol de palabras clave y la nube de palabras clave (Rahim et al., 2023).

Diagrama de Sankey

En la Figura 2 se presenta la progresión temática a través de un diagrama de flujo de energía de Sankey, que es un tipo específico de representación visual. En este documento, mediante el uso del diagrama de Sankey, se ilustra la evolución de temas a lo largo del tiempo en el ámbito de la investigación sobre realidad virtual y educación. Esta representación gráfica facilita la comprensión de cómo han evolucionado temporalmente las condiciones en las que se han desarrollado diversos temas en el campo de la Realidad Virtual aplicada a la Educación (Rojas-Sánchez et al., 2022).

El período de 2005 a 2024 se dividió en 5 partes, como se muestra en la Figura 2. En el Período 2005-2008, "Nanotecnología" es el tema predominante en este periodo inicial, lo que indica el enfoque temprano en la investigación de nanotecnología aplicada a envases biodegradables. En el Período 2009-2013, "Nanotecnología" sigue siendo relevante, pero comienzan a surgir nuevos temas como "alimento". Los flujos indican que la investigación empieza a diversificarse hacia aplicaciones específicas. En 2014-2018 vemos una diversificación significativa. Temas como "envasado de alimentos", "nanomateriales diseñados", "envases biodegradables", "biopolímeros", y "conservación de alimentos" emergen de "nanotecnología" y "alimento". "Envases de alimentos" y "nanomateriales diseñados" son temas importantes que muestran cómo la nanotecnología se aplica a envases y materiales.



Figura 1. Información principal de datos bibliométricos extraídos de Scopus.

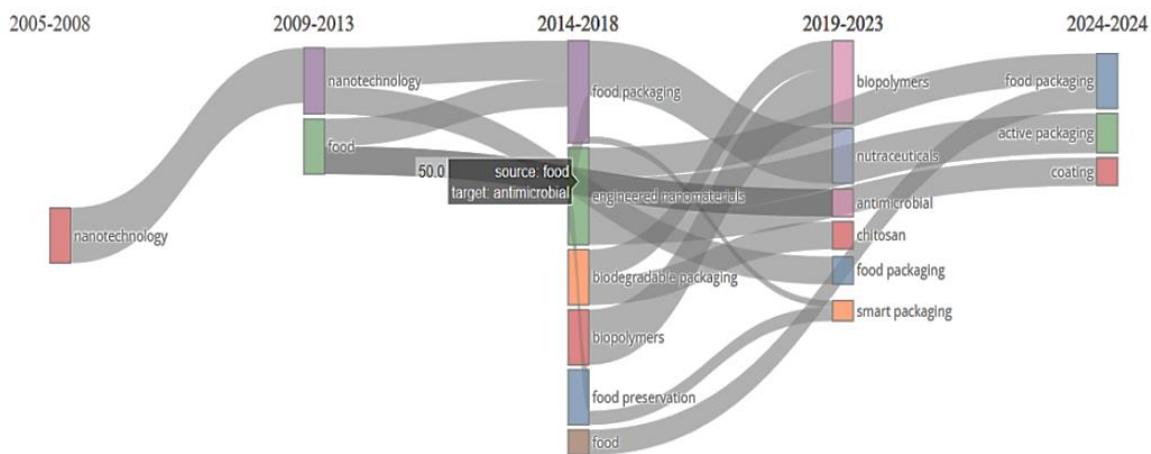


Figura 2. Diagrama de Sankey basado en las palabras claves del autor, (2005-2024).

En el Período 2019-2023 la diversificación continúa con temas como "biopolímeros", "nutracéuticos", "antimicrobianos", "quitosano", "envases de alimentos", y "envases inteligentes". Se nota un crecimiento en la investigación sobre "biopolímeros" y "antimicrobianos", indicando un enfoque en mejorar la funcionalidad y seguridad de los envases. En 2024-2024 los temas de "envases de alimentos", "envases activos" y "revestimientos" dominan, mostrando que la investigación ha avanzado hacia soluciones más específicas y aplicadas en el mercado de envases biodegradables (Tao et al., 2024).

Red de concurrencia

En la visualización de la red utilizada en el contexto de este estudio, se observa que los términos clave desempeñan un papel crucial como nodos de conexión, donde el tamaño y la etiqueta de cada

nodo reflejan la importancia de dicho término dentro de la red, determinada por su frecuencia de aparición. Entre los términos más recurrentes destacados por los autores se encuentran nanotecnología, seguridad alimentaria y envasado de alimentos, subrayando la relevancia de las relaciones establecidas entre estos términos clave, las cuales se visualizan a través de líneas que conectan los nodos. La proximidad entre dos nodos en la visualización indica la fuerza de la relación entre ellos (Sarmiento-Ramírez et al., 2023).

La Figura 3 presenta una escala de colores que abarca desde tonalidades azules más intensas, asociadas a años anteriores, hasta tonos amarillos que representan la actualidad. Esta representación gráfica permite interpretar la evolución de la producción bibliográfica a lo largo del tiempo a partir de los términos clave utilizados por los investigadores (Sarmiento-Ramírez et al., 2023).

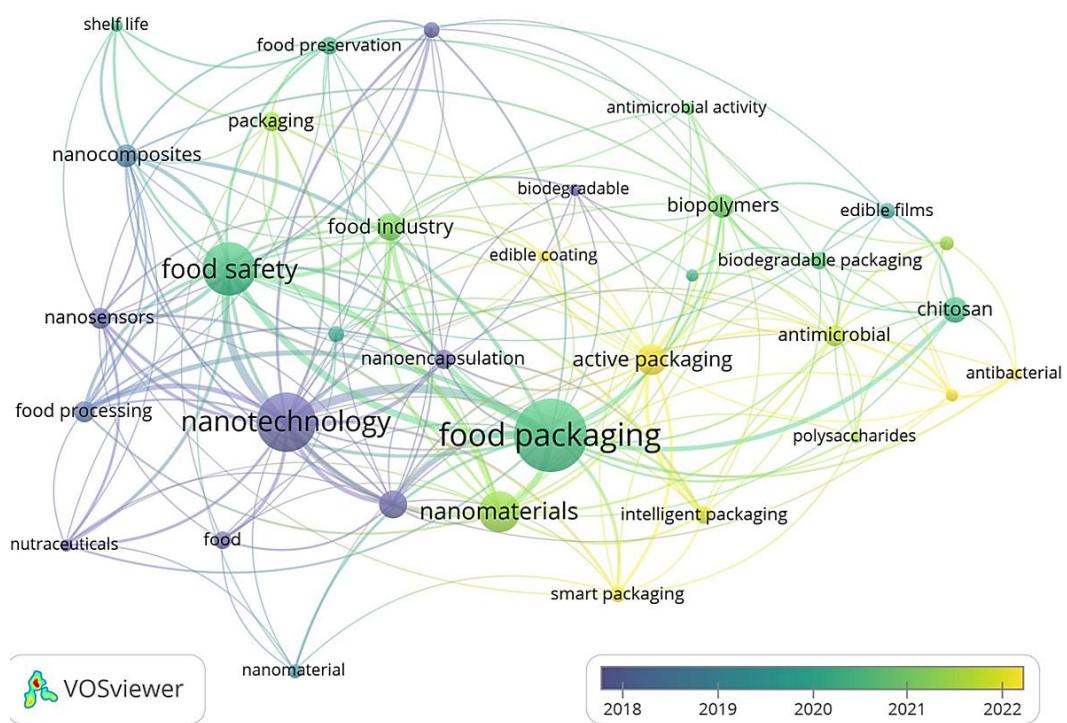


Figura 3. Red de concurrencia por palabra clave del autor.

Se destaca que los nodos más antiguos tienden a ubicarse en la periferia de la red y presentan conexiones limitadas. Durante los primeros años del periodo analizado, términos como biodegradable, comida funcional y nanopartículas fueron prominentes, mientras que, en el periodo posterior, entre 2018 y 2020, términos como compuestos bioactivos, embalaje biodegradable, films comestibles, biopolímeros, nanoencapsulación de envasado de alimentos, preservación de alimentos, entre otros, fueron relevantes en la literatura revisada. Por otro lado, los nodos de color amarillo, que representan los términos más recientes y actuales citados por los autores, incluyen antimicrobiano, antioxidante, envasado de alimentos activos, envasado activo, actividad antimicrobiana, embalaje inteligente, entre otros (Romero-Riaño et al., 2022).

Mapa temático

La evaluación del impacto de los conceptos aprendidos en la Figura 4, se realiza a través del mapeo temático. Los grupos de palabras relacionadas se representan mediante círculos, cuyo tamaño está determinado por la cantidad de publicaciones asociadas. La densidad en el eje vertical indica las conexiones dentro de un grupo, mientras que la centralidad en el eje horizontal refleja la interacción del grupo. En el cuadrante I, los temas "motores" se caracterizan por una alta centralidad y densidad, lo que sugiere temas fundamentales con un gran potencial. En el

cuadrante II, los temas "de nicho" presentan una centralidad baja pero una densidad alta, indicando especialización. El cuadrante III representa temas emergentes o en declive, con baja centralidad y densidad. Por último, el cuadrante IV abarca temas "básicos" con alta centralidad, pero baja densidad, relevantes, pero menos explorados intensivamente (Cobo et al., 2011).

Utilizando la herramienta Bibliometrix, es posible asignar un total de ocho grupos a una matriz compuesta por cuatro campos con el fin de visualizar y mapear el campo de investigación de manera más detallada y estructurada (Mies, 2024). Al examinar los temas motores, conceptos como "envasado de alimentos", "nanotecnología" y "seguridad alimentaria" tienen un potencial significativo de progresión. Grupos como "quitosano", "películas comestibles" y "aceites esenciales" también son temas fundamentales con un impacto sustancial en el campo. Los grupos como "nanomaterial", "evaluación de la seguridad" y "agricultura" también son de gran potencial sustancial. Así como los grupos "biosensores" y "patógenos alimentarios". El tema, "compuestos bioactivos", grupos como "actividad antimicrobiana", "actividad antioxidante" y "biopreservación", son temas que pueden estar emergiendo o declinando en relevancia. El grupo de "embalaje activo", "biopolímeros" y "antimicrobiano" son temas fundamentales y tienen una alta centralidad en el campo, pero no están muy desarrollados (Gumusburun & Anaç, 2024).

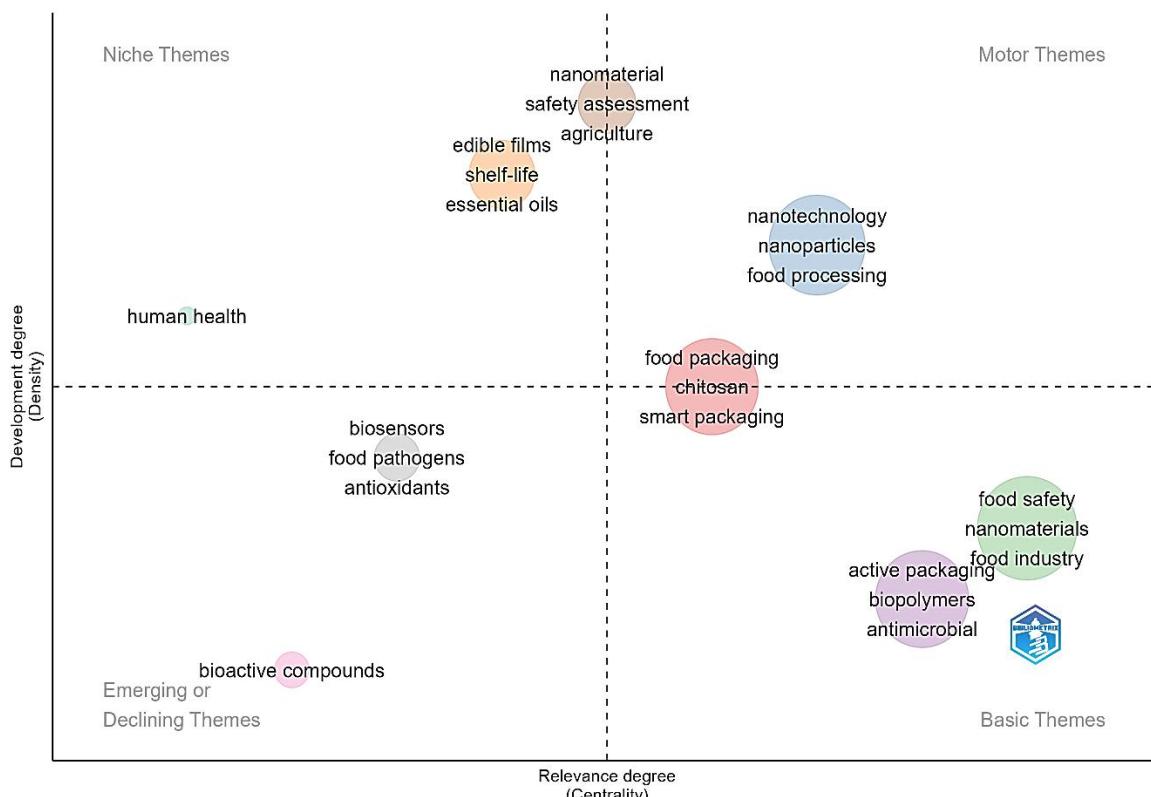


Figura 4. Mapa temático basado en palabras clave del autor.

Criterios de inclusión y exclusión

En una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL), es crucial que los autores definan criterios de inclusión y exclusión para garantizar la objetividad y evitar sesgos en el proceso. La selección de los artículos se fundamenta en aspectos como el período de revisión, el idioma de publicación, el tipo de literatura considerado, la fuente de los estudios, su impacto en la disciplina y la disponibilidad de la información (Carrera-Rivera et al., 2022). Los criterios de exclusión se aplicaron para descartar artículos que no eran relevantes, artículos que tenían más de 5 años de antigüedad, estaban en proceso de publicación o eran duplicados. Estos artículos fueron excluidos de la revisión debido a que estaban fuera del alcance del trabajo de revisión (Mengist et al., 2020).

Tras llevar a cabo una búsqueda inicial en la base de datos de SCOPUS sin aplicar ningún tipo de filtro, se siguió de manera sistemática la metodología PRISMA. Esto permitió realizar una búsqueda más exhaustiva sobre el tema seleccionado mediante la aplicación de criterios de inclusión y exclusión.

PRISMA 2020 ha sido desarrollado y actualizado para facilitar su aplicación en búsquedas sistemáticas que abarcan la síntesis de datos, como metaanálisis, y en revisiones sistemáticas que incluyen métodos mixtos que combinan estudios cuantitativos y cualitativos (Page et al., 2021). En esta investigación, el primer criterio de inclusión se centra en buscar artículos de investigación de los últimos cuatro años para garantizar información actualizada. Se han excluido

documentos en proceso de publicación para no afectar la investigación. Es importante destacar que no se han establecido limitaciones en cuanto al idioma de las publicaciones (Perevochtchikova et al., 2019). Para filtrar los estudios se aplicaron los siguientes principios de inclusión y exclusión adicionales, tal como se muestra en la Tabla 2. Una vez hecha toda una búsqueda intuitiva en la base de datos SCOPUS y así mismo aplicando el diagrama Prisma, en la etapa inicial se encontraron un total de 629.915 documentos en la base de datos Scopus, no registrando ningún duplicado de acuerdo con la búsqueda. registrando un total de cribado 629.915, asimismo con un total de 669.739 documentos registrados como excluidos, 176 publicaciones aplicando el algoritmo PICOC, 106 publicaciones no recuperadas y posterior a eso siguiendo todo los términos de cribado se tiene un total de 70 artículos para ser evaluadas por su elegibilidad aplicando los criterio de inclusión: CI1, CI2, CI3, CI4, CI5, CI6, Realizando las verificaciones de manera individual a todos los documentos uno a uno para saber si verdaderamente guarda relación con nuestro tema principal logrando revisar todo el pdf completo por lo consiguiente aplicando el criterio de exclusión: CE1,CE2, CE3, CE4, CE5 se registró un total de 25 artículos excluidos que no guardan ninguna relación con el tema principal y por último se identificaron 45 artículos que nos permiten estos poder definir todos los incluidos que son 45 artículos de alto impacto que cumplen todos los criterios y fundamentos con nuestro tema principal (Figura 5).

Tabla 2

Selección de literatura del estudio SLR aplicando criterios de inclusión y exclusión (Metodología PRISMA)

TIPO	CRITERIOS DE INCLUSIÓN	TIPO	CRITERIOS DE EXCLUSIÓN
CI1	Artículos de los últimos 4 años	CE1	Artículos que no están dentro de los últimos 4 años
CI2	Área temática: Ciencia Agricultura y Biología; Bioquímica, Genética y Biología Molecular; Química, Ingeniería Química; Ciencia de los Materiales y Ingeniería	CE2	Artículos que no están relacionados con el tema principal.
CI3	Tipo de documentos: Artículos y revisiones	CE3	Etapa de la publicación en proceso
CI4	Idiomas: inglés	CE4	Publicaciones duplicadas
CI5	Países: Todos	CE5	Falta de DOI
CI6	Acceso abierto		

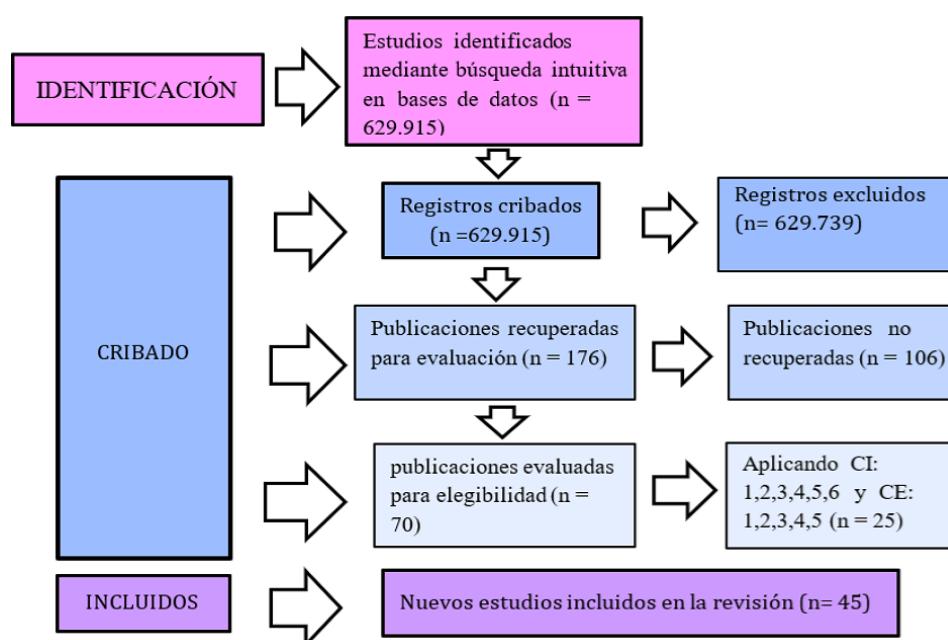


Figura 5. Esquema para la búsqueda en bases de datos de publicaciones para revisiones sistemáticas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron 176 artículos, entre ellos 70 fueron seleccionados aplicando filtros de selección de documentos y palabras clave en la base de datos Scopus y finalmente 45 fueron elegibles para lectura completa. Todos los artículos cumplieron con los criterios de elección tomados para la RSL y fueron publicados entre 2021 y 2024 (Siddiqui et al., 2023).

En la actualidad, la investigación sobre la nanotecnología y biopolímeros: Una alternativa para los empaques y embalajes se ha centrado principalmente en el porcentaje de desperdicio de los alimentos, en sus propiedades desaprovechadas y en el bienestar y salud del mundo bajo el consumo de alimentos industrializados con empaques y embalajes sintéticos. Los investigadores mayormente apuntaron a investigar los desperdicios de alimentos en la industria para darle un provecho y un valor agregado para mitigar el impacto de la contaminación del medio ambiente y el uso de polímeros dañinos para la salud (Nanda et al., 2024b). Este estudio explora la revisión sistemática de las tendencias de la nanotecnología y biopolímeros a partir de los residuos industriales. Con base en la evidencia propuesta, se analizan brevemente las siguientes preguntas.

Año de publicación de las investigaciones

Los resultados en la Tabla 3 muestran el número de artículos publicados desde el año 2020 al 2024. En los años donde se publicaron más artículos sobre nanotecnología y biopolímeros de mayor impacto son en los años 2022 que alcanzó un total de 15 documentos publicados con un 37,5%, en el 2023 un total de 12 documentos publicados con un 30% y en 2024 un total de 11 documentos publicados siendo los documentos más actualizados con un 23.8% acerca del tema de investigación.

Tabla 3

Número de investigaciones disponibles según año de publicación

Año	Nº Artículo	Porcentaje
2020	0	0,0%
2021	2	3,2%
2022	15	38,1%
2023	12	34,9%
2024	11	23,8%
Total	40	100,0%

Nota. Número de artículos disponibles del año 2020 a 2024 sobre nanotecnología y polímeros, donde en 2022 hubo más publicaciones que en el 2020.

Países a nivel mundial de artículos publicados

Según resultados en la Figura 6, el número de artículos que cada país realizó abordando nuestro tema de mayor interés sobre la nanotecnología y los biopolímeros en envases y embalajes dentro de la industria alimentaria, donde el país de la India representa una mayor cantidad de publicaciones con 12 documentos publicados, seguidos por Brasil y China con 7 documentos publicados cada uno, seguidos por Malasia, Egipto, Pakistán, Irak, USA cada uno de dos publicaciones por país y por último

los países que aportaron con una sola publicación Siria, Italia, Corea y Francia.

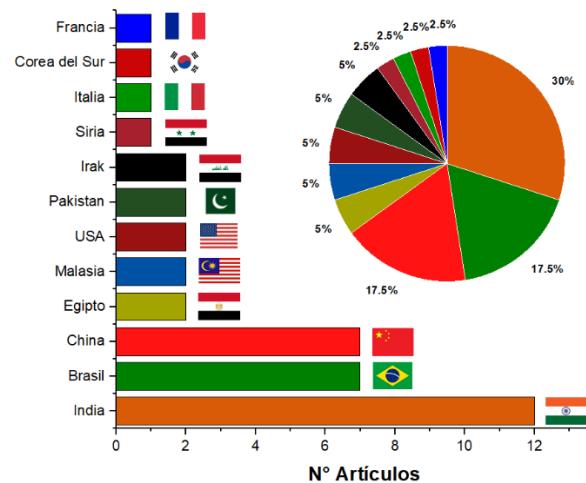


Figura 6. Número de artículos publicados en cada país a nivel mundial.

Q1 ¿Cuál es el impacto del uso de la nanotecnología y biopolímeros en los envases y embalajes en la industria alimentaria?

En respuesta a la pregunta de investigación Q1 en la presente RSL se han encontrado diferentes artículos que hablan sobre el uso y su impacto de la nanotecnología y biopolímeros en envases dentro la industria alimentaria, tal como se muestra en la Figura 7.

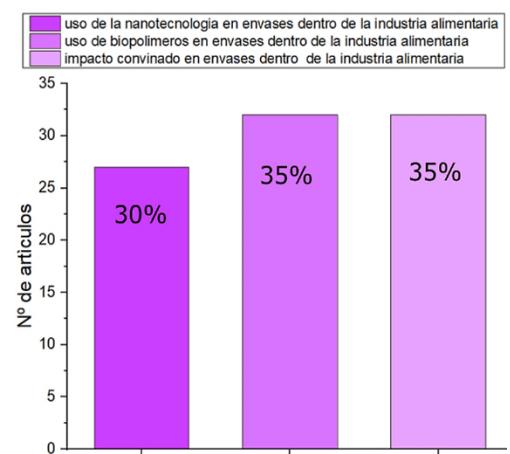


Figura 7. Resultados encontrados en respuesta a la pregunta principal.

El porcentaje de artículos estudiados según la revisión sistemática donde los autores en su investigación mencionan el uso de la nanotecnología y los biopolímeros en envases dentro de la industria y su impacto, dónde 27 documentos mencionan sobre el uso de la nanotecnología en envases dentro de la industria de alimentos haciendo el 30%, 32 documentos mencionan sobre el uso de biopolímeros en envases dentro de la industria alimentaria haciendo el 35% y así mismo 32 documentos nos mencionan el impacto

combinado en envases dentro de la industria de alimentos haciendo el 35%.

Según Alkassfarity et al. (2024) en su estudio destacó sobre la fabricación de películas biobionanocompuestas con nanocristales de celulosa modificados y policaprolactona, las cuales mostraron mejoras significativas en resistencia mecánica, bloqueo de rayos UV y propiedades antimicrobianas. Este avance no solo optimiza la calidad y durabilidad de los alimentos envasados, sino que también reduce la permeabilidad a gases y vapor de agua, prolongando la vida útil de los productos. De igual manera, según Hatta et al. (2023), nos menciona sobre la integración de la nanotecnología, biopolímeros y materiales bioactivos en los sistemas de envasado no solo mejora la conservación de alimentos, sino que también responde a la creciente demanda de seguridad y calidad alimentaria. Aunque se requieren más investigaciones para comercializar plenamente estas tecnologías, su potencial para revolucionar la industria alimentaria es innegable, garantizando productos más seguros y sostenibles para los consumidores. Por consiguiente, según Bose et al. (2023), aborda sobre el problema del desperdicio de alimentos y la necesidad de materiales de envasado ecológicos que prolonguen la frescura de los alimentos. Los envases antimicrobianos y biodegradables son avances clave en el envasado activo, utilizando antioxidantes naturales y nanopartículas orgánicas para mejorar las propiedades antibacterianas y antioxidantes de los envases. Estos materiales, como polisacáridos y proteínas, ofrecen una mejor obstrucción de la luz ultravioleta y menor permeabilidad al vapor de agua, contribuyendo a un menor impacto ambiental. Así mismo, según Zhang et al. (2022), también destaca la importancia de los polímeros y compuestos poliméricos en el envasado de alimentos, clasificando los avances en envases mejorados, activos e inteligentes. La revisión aborda las preocupaciones de seguridad y regulaciones, y ofrece una perspectiva sobre las futuras direcciones de investigación en este campo. Del mismo modo según, Vieira et al. (2022) en su investigación nos proporciona una visión detallada sobre las nanopartículas inorgánicas y los compuestos antioxidantes naturales en matrices biodegradables y biobasadas, resaltando su potencial en el envasado activo de alimentos, también esta revisión aborda las propiedades intrínsecas, la seguridad y los efectos potenciales de los nanomateriales en la salud, destacando la sinergia entre nanopartículas inorgánicas y antioxidantes naturales para mejorar las propiedades de las películas de embalaje biodegradables. Al haber revisado los autores anteriormente mencionados se pudo comprender que enfatizan el desarrollo de películas biobionanocompuestas y biodegradables que mejoran la resistencia mecánica, bloquean los rayos UV, poseen propiedades antimicrobianas y reducen la permeabilidad a gases y vapor de agua. Estos avances no sólo prolongan la vida útil de los alimentos, sino que también responden a la

demandas crecientes por alimentos seguros y de alta calidad, además de abordar preocupaciones ambientales como el desperdicio de alimentos.

Por si fuera poco, según Baghi et al. (2022), destaca sobre la importancia de incorporar compuestos antimicrobianos y antioxidantes naturales en los envases de alimentos para satisfacer las expectativas de los consumidores de alimentos saludables. La nano/microencapsulación de estos compuestos bioactivos mejora su estabilidad y controla su liberación, permitiendo el desarrollo de envases activos y bioactivos. Los materiales de embalaje biodegradables, que están ganando atención debido a las crecientes preocupaciones ambientales, ofrecen una alternativa sostenible y rentable a los plásticos convencionales, contribuyendo a reducir el desperdicio de alimentos y la contaminación por plásticos. Así mismo, Chaudhari et al. (2023) destaca los desafíos que enfrenta la industria alimentaria con respecto al deterioro de alimentos debido a la contaminación por hongos y la peroxidación lipídica. Menciona que, si bien se han utilizado conservantes químicos, su uso repetitivo plantea preocupaciones por su impacto negativo. En contraste, los aceites esenciales (AE) emergen como una opción atractiva debido a sus propiedades naturales antifúngicas y antioxidantes. Aunque su aplicación a escala industrial ha sido limitada debido a problemas como la solubilidad y la vulnerabilidad a la oxidación, el envasado activo con biopolímeros ofrece una solución prometedora. Estos materiales no solo mejoran la estabilidad de los AE mediante una liberación controlada, sino que también minimizan el deterioro de los alimentos sin comprometer sus cualidades sensoriales, representando así una innovación significativa hacia soluciones más seguras y comercialmente viables en el mercado de envases de alimentos. Del mismo modo, Ali et al. (2023) destaca que la industria alimentaria, que consume aproximadamente el 40 % del plástico global como material de embalaje, enfrenta serias preocupaciones ambientales debido a la falta de degradabilidad de los plásticos convencionales. Propone que los biopolímeros, como los polisacáridos (almidón, celulosa, quitosano) y las proteínas (gelatina, colágeno), junto con los ácidos grasos, podrían ofrecer una solución viable. Estos materiales son biodegradables y muestran propiedades mejoradas cuando se combinan con nanomateriales mediante tecnologías avanzadas de compuestos de intercalación a nanoscala. Esto resulta en características fascinantes como rigidez, estabilidad térmica, propiedades bioactivas, y biodegradabilidad, lo que los convierte en alternativas prometedoras y necesarias para el embalaje de alimentos en una era más verde y sostenible. Estos estudios subrayan el papel crucial de los biopolímeros y los bionanocompuestos en la transformación hacia materiales de envasado más seguros, sostenibles y eficaces. Estas innovaciones no solo abordan los desafíos ambientales y de salud pública asociados con los plásticos convencionales,

sino que también promueven la innovación tecnológica y el avance hacia prácticas más responsables en la industria alimentaria global. De acuerdo con nuestra revisión de 40 artículos, la Figura 7 nos brinda la información de manera porcentual donde detallamos lo siguiente: que el 30% de ellos hace referencia a la aplicación de la nanotecnología en envases dentro de la industria alimentaria, el 35% nos mencionan sobre el uso de los biopolímeros en envases dentro de la industria alimentaria y así mismo el 35% abordan sobre el impacto en envases dentro de la industria alimentaria. En otros términos, estos hallazgos respaldan los resultados encontrados donde el uso de la nanotecnología, biopolímeros y la combinación de ambos aplicado en envases dentro de la industria alimentaria generan nuevos desarrollos de innovaciones en envases biodegradables.

EQ1 ¿Cómo ayuda la aplicación de la nanotecnología en nuevos envases y embalajes dentro de la industria alimentaria?

En respuesta a nuestra pregunta de investigación EQ1 en la presente RSL se han encontrado diferentes artículos que mencionan la aplicación de la nanotecnología en nuevos envases y embalajes en la industria de alimentos.

En la Figura 8 se muestra el porcentaje de artículos estudiados según la revisión sistemática donde el mayor porcentaje mencionan sobre protección avanzada en envases con un total de 35 documentos publicados alcanzando un 45% siendo esto el mayor porcentaje de estudio, así mismo los documentos que hablan de la mejor conservación de alimentos aplicando la nanotecnología con un total de 29 documentos publicados alcanzando así

un 37% siendo el segundo tema de mayor interés y por último un total de 14 artículos que mencionan sobre la reducción de aditivos químicos empleando la nanotecnología esto comprende el 18%.

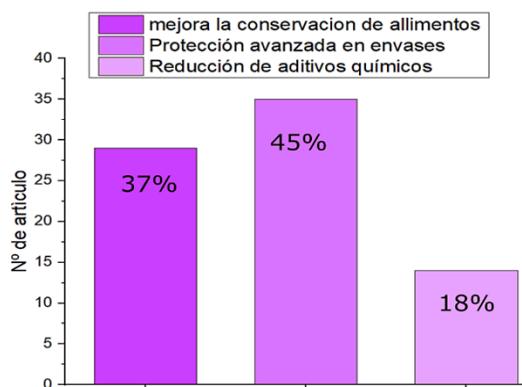


Figura 8. Resultados encontrados en respuesta a la sub pregunta EQ1.

Según Chausali et al. (2022), la nanotecnología ha transformado la conservación, procesamiento, prueba y empaque de los alimentos. Los materiales de nanoestructura, debido a sus propiedades físicas y químicas únicas, son preferidos sobre sus contrapartes de macroestructura, permitiendo la creación de envases avanzados que mantienen el sabor, la nutrición y la calidad de los alimentos durante su transporte, además de prevenir la contaminación y preservar las propiedades mecánicas, fisiológicas, físicas y químicas de los alimentos (Figura 9). Ranjha et al. (2022), agrega otra dimensión a esta discusión, destacando la biocompatibilidad de los nanomateriales.

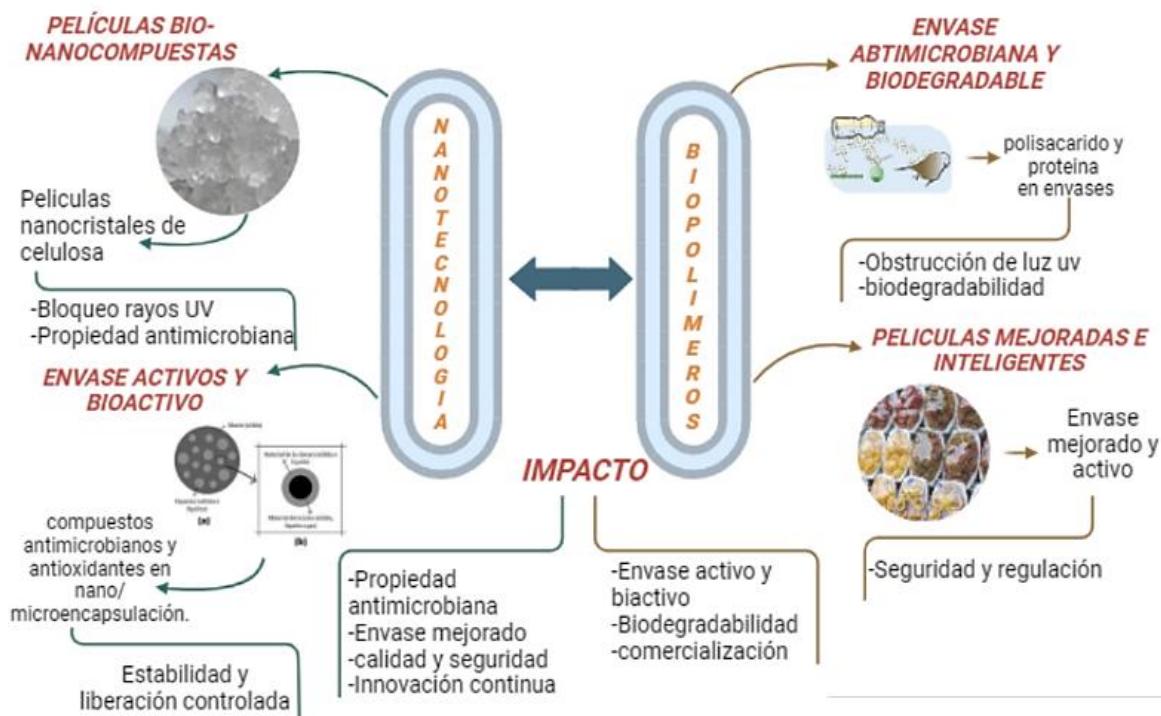


Figura 9. Descripción de la nanotecnología y biopolímeros en envases y embalajes.

La síntesis de nanomateriales biocompatibles se centra en reducir la toxicidad, disminuir los efectos adversos en el tracto gastrointestinal y mejorar la respuesta inmunitaria. Estos nanomateriales se utilizan en una variedad de aplicaciones en la industria alimentaria, incluyendo la detección de toxinas y patógenos, la producción de envases biocompatibles y la mejora de la calidad sensorial de los alimentos (color, sabor y aroma). La nanotecnología ha revolucionado la industria alimentaria al mejorar la seguridad, la calidad y la vida útil de los productos. Subrayan las propiedades únicas de los nanomateriales que permiten la creación de envases avanzados, preservando el sabor y la nutrición de los alimentos, además de prevenir la contaminación. Se destaca la importancia de la biocompatibilidad de los nanomateriales para reducir la toxicidad y mejorar la respuesta inmunitaria, lo que resulta en envases más seguros y efectivos.

Por otro lado, Arun et al. (2022) abordan la problemática ambiental del uso de plásticos sintéticos no biodegradables y la eliminación de desechos agrícolas. Su estudio se centra en el uso de agrorresiduos, específicamente cáscaras de coco, para sintetizar nanofibras de celulosa (CNF), que se incorporaron a una película de empaque biodegradable para mejorar sus propiedades. Este enfoque no solo aborda la sostenibilidad al utilizar materiales biodegradables y de origen biológico, sino que también mejora las propiedades mecánicas, térmicas y ópticas del material de empaque, haciéndolo comparable a las películas de polietileno convencionales. Las propiedades antioxidantes y antimicrobianas añadidas por los aceites esenciales, como el de linaza y limón, proporcionan una protección continua a los alimentos. Así mismo, Rather et al. (2021) en su investigación, se enfoca en el uso de aceites esenciales en nanofibras poliméricas fabricadas por electrohilado. Estas nanofibras mejoran las propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias y antioxidantes, protegiendo los alimentos del daño oxidativo y reduciendo el uso de drogas sintéticas tóxicas. Este enfoque es eficiente y se alinea con las demandas de los consumidores por productos más seguros y sostenibles. De igual manera, Omerović et al. (2021), en su investigación destaca el uso de materiales compuestos antimicrobianos que combi-

nan nanopartículas antibacterianas con polímeros verdes biodegradables. Estos materiales no solo mejoran la seguridad y calidad de los alimentos, sino que también reducen los residuos plásticos y promueven la sostenibilidad. Zhang et al. (2024) aborda la creciente demanda de materiales de envasado activos antimicrobianos con buenas propiedades mecánicas y de barrera en la industria alimentaria. Su estudio se centra en la síntesis de nanocompuestos de Ag/ácido tánico-FelII (TFA), que se incorporaron a una película compleja de quitosano/gelatina/álcool polivinílico (CF) para producir películas multifuncionales. Estas películas muestran una excelente actividad antioxidante, efectos fototérmicos y un potente rendimiento antibacteriano bajo radiación láser de infrarrojo cercano, lo que las hace ideales para el envasado y la esterilización continua de productos cárnicos. Estos estudios analizados coinciden en que la nanotecnología y los materiales avanzados mejoran la sostenibilidad y la funcionalidad de los empaques alimentarios. Destacan el uso de materiales biodegradables y nanocompuestos que mejoran las propiedades mecánicas, térmicas y de barrera, al tiempo que proporcionan protección antimicrobiana y antioxidante. Estos enfoques no solo preservan la calidad y seguridad de los alimentos, sino que también responden a la demanda de los consumidores por soluciones más seguras y ecológicas. De acuerdo con nuestra revisión de 40 artículos, la Figura 8 nos brinda la información de manera porcentual donde detallamos lo siguiente: que el 37% de ellos hace referencia a la mejora de la conservación de alimentos aplicando la nanotecnología en los empaque y embalajes, el 45% nos mencionan sobre una protección avanzada de los alimentos con estos envases aplicando nuevas tecnologías según los distintos artículos revisados y así mismo el 18% abordan sobre la reducción del uso de aditivos químicos usando la nanotecnología lo cual nos permite mejorar las condiciones de los alimentos. En otros términos, estos hallazgos respaldan los distintos resultados encontrados donde la aplicación de la nanotecnología ayuda a la mejora de las condiciones de los envases y embalajes para una mayor conservación de los alimentos y brindando una mayor seguridad alimentaria (Figura 10).



Figura 10. Descripción de la nanotecnología en envases y embalajes.

EQ2 ¿De qué manera se beneficia la industria de alimentos a través de la aplicación de los biopolímeros en envases y embalajes?

En respuesta a nuestra pregunta de investigación EQ2 en la presente RSL se han encontrado diferentes artículos que mencionan sobre el beneficio de la aplicación de biopolímeros en envases y embalajes dentro de la industria de alimentos. En la Figura 11 se muestra el porcentaje de artículos estudiados según la revisión sistemática. Asimismo, se ha demostrado que la mayoría de los artículos mencionan versatilidad en aplicaciones con un 35%, el resto de los artículos estudiados mencionan compatibilidad con alimentos y reducción de residuos plásticos con 37% y 28% respectivamente.

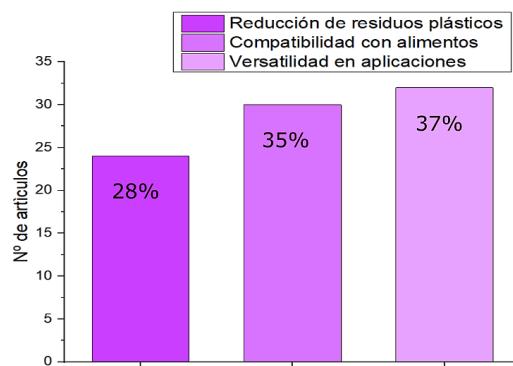
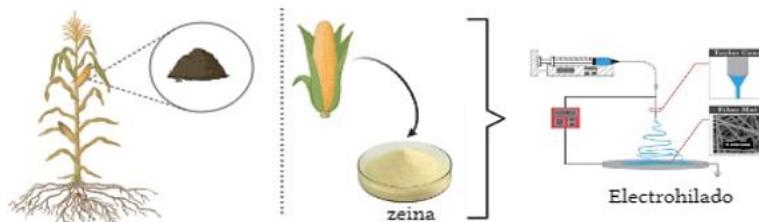


Figura 11. Resultados encontrados en respuesta a la sub pregunta EQ2.

La industria de alimentos se beneficia significativamente de la aplicación de biopolímeros en envases y embalajes. Según Richard (2022), estos materiales son biodegradables y compostables, lo que reduce el impacto ambiental de los residuos plásticos. Además, su producción genera menos emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono. Al

adoptar envases ecológicos, las empresas mejoran su imagen de marca y cumplen con las regulaciones medioambientales, respondiendo a la creciente demanda de consumidores por prácticas sostenibles. Así mismo, Nanda et al. (2024), investigan la zeína, un biopolímero a base de proteínas derivado del maíz, que ha ganado atención como una opción prometedora y ecológica para el envasado de alimentos debido a sus atributos físicos favorables. La introducción de la tecnología de electrohilado ha avanzado significativamente en la producción de nanomateriales basados en zeína, permitiendo la creación de nanofibras con estructuras personalizables y atributos mecánicos y térmicos ajustables (Figura 12). Esta técnica permite integrar diversos aditivos, como antioxidantes y agentes antimicrobianos, en las nanofibras de zeína, mejorando sus funcionalidades para la conservación de alimentos. Por otro lado, Mayuri et al. (2022) resalta la creciente necesidad de desarrollar bioplásticos biodegradables como alternativa a los plásticos convencionales en el envasado de alimentos. Discute diversas fuentes de biopolímeros, métodos de producción y aplicaciones emergentes. Aunque los bioplásticos enfrentan desafíos en cuanto a propiedades mecánicas y de barrera en comparación con los plásticos sintéticos, se exploran soluciones como el uso de rellenos, nanocomuestos y aditivos para mejorar estas características; la combinación de biopolímeros con polímeros sintéticos representa una prometedora línea de investigación, respaldada por métodos de producción como la fundición en banco y continua. Estos estudios subrayan la importancia de la innovación tecnológica y la colaboración interdisciplinaria para alcanzar estos objetivos, en un contexto donde la demanda por materiales de envasado biodegradables está en aumento debido a preocupaciones ambientales globales y regulaciones más estrictas.

Materia Prima y Proceso de Producción



Beneficios y Aplicaciones



Figura 12. Descripción de procesos de producción, beneficios y aplicaciones.

Por lo consiguiente, Wen et al. (2023) introduce una tecnología innovadora que incorpora puntos cuánticos de carbono fluorescente (CDs) derivados de la cúrcuma en una matriz de quitosano. Estas películas de envasado activas inhiben el crecimiento de bacterias como *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* bajo irradiación, y han demostrado retrasar el deterioro de la carne de cerdo, proporcionando una solución segura y eficiente para el envasado de alimentos. Además, Ge et al. (2024), en su investigación presenta materiales de celulosa, específicamente nanofibras de celulosa (CNF) y carboximetilcelulosa (CMC), para crear películas compuestas con alta transparencia y excelentes propiedades mecánicas. Estas películas, cargadas con polifenoles del té, inhiben *E. coli* y *S. aureus* y pueden degradarse rápidamente en condiciones naturales, ofreciendo una alternativa sostenible a los materiales de envasado convencionales. De igual manera, Sarfraz et al. (2024) discute el uso del quitosano debido a sus beneficios antioxidantes y antimicrobianos, su compatibilidad biológica y biodegradabilidad. A pesar de los desafíos como el bajo rendimiento mecánico y térmico y los altos costos de producción, el quitosano tiene un gran potencial como sustituto de los polímeros sintéticos. Sin embargo, se necesitan más estudios para abordar cuestiones relacionadas con la selección de

materias primas, estabilidad, sensibilidad, desarrollo de productos, problemas de toxicidad e industrialización. Todos estos autores destacan la necesidad de más investigación para abordar aspectos críticos como selección de materias primas, estabilidad, toxicidad y escalabilidad industrial de estos materiales biodegradables y activos para envasado alimentario. Así mismo con nuestra revisión de 40 artículos, la Figura 11 brinda la información de manera porcentual donde detallamos lo siguiente: que el 28% de ellos hace referencia a la reducción de todos los residuos plásticos en las industrias al aplicar el uso de los biopolímeros en los empaque y embalajes, el 35% nos mencionan sobre la compatibilidad que tienen los distintos biopolímeros con los alimentos y así no generen ningún daño o malestar a los consumidores incrementando la seguridad alimentaria y así mismo el 37% abordan la versatilidad que tienen los biopolímeros a la hora de ser aplicados en nuevos envases y embalajes. En términos generales, estos hallazgos respaldan los distintos resultados encontrados donde la aplicación de los biopolímeros ayuda a la mejora de las condiciones de los envases y embalajes para una mayor conservación de los alimentos y brindando una mayor seguridad alimentaria.

DESAFÍOS Y PERSPECTIVAS DEL FUTURO

La integración de la nanotecnología y los biopolímeros en empaques y embalajes representa una alternativa prometedora para mejorar la conservación, la seguridad y las propiedades antimicrobianas de los alimentos. No obstante, su aplicación enfrenta varios desafíos críticos que deben ser abordados para asegurar su efectividad y aceptación en el mercado.

Uno de los mayores desafíos radica en desarrollar sistemas de distribución que garanticen la seguridad del consumidor y que, al mismo tiempo, sean económicamente viables para su producción a gran escala. Además, existen preocupaciones significativas sobre la posible lixiviación y migración de nanopartículas y componentes de biopolímeros desde los materiales de envasado hacia los alimentos. Dado que los materiales a escala nanométrica tienden a comportarse de manera diferente a nivel químico y físico, esto podría resultar en la generación de subproductos potencialmente dañinos para el medio ambiente y la salud humana. Por lo tanto, es fundamental realizar estudios exhaustivos sobre los efectos a largo plazo de estas interacciones para garantizar la seguridad alimentaria.

Para superar estas limitaciones, futuros estudios deberían enfocarse en desarrollar métodos avanzados de monitoreo y rastreo de nanopartículas y compuestos liberados desde los empaques. Estos métodos podrían utilizarse para detectar la presencia de contaminantes, patógenos y pesticidas, lo que fortalecería la seguridad alimentaria y permitiría un control de calidad más riguroso en tiempo real. Además, se recomienda llevar a cabo investigaciones orientadas a la industria para

evaluar la formulación de biopolímeros y nanopartículas biocompatibles, como el uso de péptidos antimicrobianos catiónicos (por ejemplo, la polilisina) a través de enfoques nanotecnológicos, con el fin de mejorar la capacidad de conservación y la eficacia antimicrobiana de los empaques.

Otra línea de investigación prometedora es la sustitución de plásticos convencionales mediante el desarrollo de películas basadas en biopolímeros combinadas con aceites esenciales y estabilizadas con emulsión de Pickering. Este enfoque tiene el potencial de reducir significativamente los residuos plásticos y disminuir la contaminación ambiental, permitiendo una solución sostenible para la industria del envasado de alimentos.

Asimismo, es crucial explorar las interacciones intermoleculares entre los componentes de los biopolímeros y diferentes nanopartículas, como las nanopartículas de plata, óxido de zinc, nano sílice y otros nanocomuestos. Estas interacciones pueden influir en las propiedades finales de los empaques y deben estudiarse para maximizar su eficacia y seguridad.

Finalmente, aunque la nanotecnología tiene el potencial de transformar el ámbito del procesamiento de alimentos, su implementación a gran escala requiere marcos regulatorios específicos que aborden las preocupaciones de seguridad y estandarización. Hasta el momento, la mayoría de los estudios se han realizado a nivel de laboratorio; por tanto, futuros estudios deberían centrarse en expandir estas aplicaciones hacia contextos industriales, evaluando su viabilidad técnica y económica en condiciones reales de producción.

CONCLUSIONES

La industria alimentaria está demostrando un interés creciente en reemplazar los conservantes tradicionales, que suelen ser perjudiciales para la salud, por alternativas basadas en nanotecnología y biopolímeros. Estas tecnologías ofrecen una prometedora solución para mantener la frescura, calidad y seguridad de los alimentos, alineándose con la demanda de los consumidores por productos mínimamente procesados y más sostenibles. El desarrollo de empaques y embalajes que integren estos materiales podría impulsar la sostenibilidad en el sector alimentario al reducir la dependencia de los plásticos convencionales.

Los estudios revisados confirman que los materiales basados en nanotecnología y biopolímeros pueden mejorar significativamente la conservación de los alimentos, ofreciendo una mayor capacidad de barrera, propiedades mecánicas avanzadas y, en algunos casos, funcionalidad antimicrobiana. Además, responden a la creciente demanda de productos ecológicos y sostenibles. Sin embargo, la implementación de estas tecnologías a gran escala enfrenta desafíos, como la necesidad de establecer sistemas de distribución seguros y lograr la aceptación del consumidor.

En el ámbito de la nanotecnología, se concluye que esta tecnología no solo mejora la calidad de los alimentos al extender su vida útil, sino que también permite monitorear el estado de los productos mediante nanosensores, ofreciendo una innovación clave para la seguridad alimentaria. Las nanoestructuras utilizadas en empaques pueden prolongar la vida útil de los productos y, al mismo tiempo, informar sobre su frescura.

Por otro lado, los biopolímeros, como el ácido poliláctico (PLA), el polihidroxibutirato (PHB), y los

derivados de celulosa y almidón, han demostrado ser alternativas sostenibles a los plásticos convencionales en el envasado. Su uso no solo contribuye a la conservación de alimentos y la seguridad alimentaria, sino que también muestra una gran versatilidad para su aplicación en otros sectores, como la medicina, la agricultura y productos de consumo. La incorporación de estos biopolímeros en la industria del empaque y embalaje es un paso hacia una economía circular y más respetuosa con el medio ambiente.

Finalmente, con el avance continuo de la tecnología y una colaboración más estrecha entre investigadores, reguladores e industria, la integración de biopolímeros y nanotecnología tiene el potencial de transformar el sector del empaque y contribuir a una economía más sostenible y circular.

En cuanto a futuras investigaciones, un enfoque interesante sería el desarrollo de envases inteligentes biodegradables utilizando nanocomuestos multifuncionales. Estos envases podrían combinar biopolímeros con nanopartículas que aporten propiedades antimicrobianas y capacidades de detección, permitiendo a los consumidores conocer la frescura del producto mediante un cambio de color visible. Además, es fundamental que estos estudios incluyan evaluaciones de biocompatibilidad e impacto ambiental, considerando el ciclo de vida completo de los materiales, desde su producción hasta su disposición final. Este enfoque contribuirá a garantizar que las soluciones propuestas no solo sean eficaces, sino también seguras y sostenibles a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ainomugisha, S., Matovu, M., & Manga, M. (2024). Application of green agro-based nanoparticles in cement-based construction materials: A systematic review. *Journal of Building Engineering*, 108955. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108955>
- Ali, A., Bairagi, S., Ganie, S. A., & Ahmed, S. (2023). Polysaccharides and proteins based bionanocomposites as smart packaging materials: From fabrication to food packaging applications a review. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 252, 126534. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126534>
- Alkassfarity, A. N., Yassin, M. A., Rehim, M. H. A., Liu, L., Jiao, Z., Wang, B., & Wei, Z. (2024). Modified cellulose nanocrystals enhanced polycaprolactone multifunctional films with barrier, UV-blocking and antimicrobial properties for food packaging. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 261, 129871. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129871>
- Andreo-Martínez, P., Ortiz-Martínez, V. M., Salar-García, M. J., Veiga-Del-Baño, J. M., Chica, A., & Quesada-Medina, J. (2022). Waste animal fats as feedstock for biodiesel production using non-catalytic supercritical alcohol transesterification: A perspective by the PRISMA methodology. *Energy Sustainable Development/Energy For Sustainable Development*, 69, 150-163. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.06.004>
- Aragón, C. L. M. (2022). Una revisión sistemática de la literatura del aprendizaje organizacional y el desempeño. *Visión De Futuro/VisióN De Futuro*, 27, No 1 (Enero-Junio), 1-23.
- <https://doi.org/10.36995/j.visiondefuturo.2023.27.01.001>.
- es
- Aria, M., & Cucurullo, C. (2017b). bibliometrix : An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal Of Informetrics*, 11(4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Arun, R., Shruthy, R., Preetha, R., & Sreejit, V. (2022). Biodegradable nano composite reinforced with cellulose nano fiber from coconut industry waste for replacing synthetic plastic food packaging. *Chemosphere*, 291, 132786. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132786>
- Baghi, F., Gharsallaoui, A., Dumas, E., & Ghnimi, S. (2022). Advancements in Biodegradable Active Films for Food Packaging: Effects of Nano/Microcapsule Incorporation. *Foods*, 11(5), 760. <https://doi.org/10.3390/foods11050760>
- Barage, S. H., Lakkakula, J., Sharma, A., Roy, A., Alghamdi, S., Almehmadi, M., Hossain, M. J., Allahyani, M., & Abdulaziz, O. (2022). Nanomaterial in Food Packaging: A Comprehensive Review. *Journal of Nanomaterials*, 2022, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2022/6053922>
- Bose, I., Roy, S., Pandey, V. K., & Singh, R. (2023). A Comprehensive Review on Significance and Advancements of Antimicrobial Agents in Biodegradable Food Packaging. *Antibiotics*, 12(6), 968. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12060968>
- Carrera-Rivera, A., Ochoa-Agurto, W., Larrinaga, F., & Lasa, G. (2022). How-to conduct a systematic literature review: A quick guide for computer science research. *MethodsX*, 9, 101895. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101895>

- Cevallos-Culqui, A., Pons, C., & Rodriguez, G. (2023). Semi-supervised learning models for document classification: A systematic review and meta-analysis. *Inteligencia Artificial*, 26(72), 81–111. <https://doi.org/10.4114/intartif.vol26iss72pp81-111>
- Chaudhari, A. K., Das, S., Dwivedi, A., & Dubey, N. K. (2023). Application of chitosan and other biopolymers based edible coatings containing essential oils as green and innovative strategy for preservation of perishable food products: A review. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 253, 127688. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127688>
- Chausali, N., Saxena, J., & Prasad, R. (2022). Recent trends in nanotechnology applications of bio-based packaging. *Journal Of Agriculture And Food Research*, 7, 100257. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100257>
- Cobo, M., López-Herrera, A., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2011). An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field. *Journal Of Informetrics*, 5(1), 146-166. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.10.002>
- Correia, L. F., Da Silva Pinho, G., Da Cruz Neves, T. J., De Oliveira Vieira, K. C., Maddela, N. R., Prasad, R., & Winkelströter, L. K. (2024). Nanotechnology innovation combined with bacteriocins as emerging strategy for the development of active and intelligent food packaging. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 39, 101551. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101551>
- De Kock, L., Sadan, Z., Arp, R., & Upadhyaya, P. (2020). A circular economy response to plastic pollution: Current policy landscape and consumer perception. *South African Journal of Science*, 116(5/6). <https://doi.org/10.17159/sajs.2020/8097>
- Evyani, Y., Liew, Patricia, J., Chong, M., & Zairul, Z. (2022). Biodegradable food packaging and film: a short review. *Food Research*, 6(S1), 1-12. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(s1\).007](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(s1).007)
- Garavand, F., Cacciotti, I., Vahedikia, N., Rehman, A., Tarhan, Ö., Akbari-Alavijeh, S., Shaddel, R., Rashidinejad, A., Nejatian, M., Jafarzadeh, S., Azizi-Lalabadi, M., Khoshnoudi-Nia, S., & Jafari, S. M. (2020). A comprehensive review on the nanocomposites loaded with chitosan nanoparticles for food packaging. *Critical Reviews In Food Science and Nutrition*, 62(5), 1383-1416. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1843133>
- Ge, J., Lu, W., Zhang, H., Gong, Y., Wang, J., Xie, Y., Chang, Q., & Deng, X. (2024). Exploring sustainable food packaging: Nanocellulose composite films with enhanced mechanical strength, antibacterial performance, and biodegradability. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 259, 129200. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129200>
- Gervasoni, L. F., Gervasoni, K., De Silva, K., Mendeş, M., Maddela, N. R., Prasad, R., & Winkelströter, L. K. (2023). Postbiotics in active food packaging: The contribution of cellulose nanocomposites. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 36, 101280. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101280>
- Gumusburun, G. A., & Anaç, M. (2024). A Comprehensive Analysis of the Barriers to Effective Construction and Demolition Waste Management: A Bibliometric Approach. *Cleaner Waste Systems*, 100141. <https://doi.org/10.1016/j.ciwas.2024.100141>
- Halba, K., Griffor, E., Lbath, A., & Dahbura, A. (2023). IoT Capabilities Composition and Decomposition: A Systematic Review. *IEEE Access*, 11, 29959-30007. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3260182>
- Hatta, F. A. M., Ali, Q. A. M., Kashim, M. I. A. M., Othman, R., Matalib, S. A., & Nor, N. H. M. (2023). Recent Advances in Halal Bioactive Materials for Intelligent Food Packaging Indicator. *Foods*, 12(12), 2387. <https://doi.org/10.3390/foods12122387>
- Krishna, A. R., Gurumoorthy, S., Elayappan, P., Sakthivadivel, P., Kumaran, S., & Pushparaj, P. (2022). A Review on the Application of Nanotechnology in Food Industries. *Current Research In Nutrition And Food Science*, 10(3), 871-883. <https://doi.org/10.12944/crnfsj.10.3.5>
- Mayuri, T., Shukla, R., & Balaji, J. (2022). Biobased Food Packaging Materials: Sustainable Alternative to Conventional Petrochemical Packaging Materials: A Review. *Journal Of Dairying, Foods & Home Sciences/Journal Of Dairying Foods & Home Sciences, Of* <https://doi.org/10.18805/ajdfdr.dr-1841>
- Mengist, W., Soromessa, T., & Legese, G. (2020). Method for conducting systematic literature review and meta-analysis for environmental science research. *MethodsX*, 7, 100777. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.100777>
- Mies, M. (2024). Empirical research on banks' risk disclosure: Systematic literature review, bibliometric analysis and future research agenda. *International Review Of Financial Analysis (Online)/International Review Of Financial Analysis*, 103357. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2024.103357>
- Mustafa, F., & Andreescu, S. (2020). Nanotechnology-based approaches for food sensing and packaging applications. *RSC Advances*, 10(33), 19309-19336. <https://doi.org/10.1039/d0ra01084g>
- Namasivayam, N. S. K. R., John, A., S. A. B. R., Kavisri, N. M., & Moovendhan, N. M. (2022). Biocompatible formulation of cationic antimicrobial peptide Polylysine (PL) through nanotechnology principles and its potential role in food preservation — A review. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 222, 1734-1746. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.09.238>
- Nanda, A., Pandey, P., Rajinikanth, P., & Singh, N. (2024b). Revolution of nanotechnology in food packaging: Harnessing electrospun zein nanofibers for improved preservation - A review. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 260, 129416. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129416>
- Nanda, A., Pandey, P., Rajinikanth, P., & Singh, N. (2024c). Revolution of nanotechnology in food packaging: Harnessing electrospun zein nanofibers for improved preservation - A review. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 260, 129416. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129416>
- Nanda, A., Pandey, P., Rajinikanth, P., & Singh, N. (2024d). Revolution of nanotechnology in food packaging: Harnessing electrospun zein nanofibers for improved preservation - A review. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 260, 129416. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129416>
- Negro, P., & Pons, C. (2022). Artificial Intelligence techniques based on the integration of symbolic logic and deep neural networks: A systematic review of the literature. *Inteligencia Artificial*, 25(69), 13-41. <https://doi.org/10.4114/intartif.vol25iss69pp13-41>
- Omerović, N., Djisalov, M., Živojević, K., Mladenović, M., Vunduk, J., Milenković, I., Knežević, N. Ž., Gadjanski, I., & Vidić, J. (2021). Antimicrobial nanoparticles and biodegradable polymer composites for active food packaging applications. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, 20(3), 2428-2454. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12727>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., . . . Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *International Journal Of Surgery*, 88, 105906. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2021.105906>
- Perevochtchikova, M., De la Mora-De la Mora, C., Flores, J. Á. H., Marín, W., Flores, A. L., Bueno, A. R., & Negrete, I. A. R. (2019). Systematic review of integrated studies on functional and thematic ecosystem services in Latin America, 1992–2017. *Ecosystem Services*, 36, 100900. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100900>
- Rahim, H. U., Allevato, E., Radicetti, E., Carbone, F., & Stazi, S. R. (2023). Research Trend of Aging Biochar for Agro-environmental Applications: a Bibliometric Data Analysis and Visualization of the Last Decade (2011–2023). *Journal Of Soil Science And Plant Nutrition*, 23(4), 4843-4855. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01456-4>
- Ranjha, M. M. A. N., Shafique, B., Rehman, A., Mehmood, A., Ali, A., Zahra, S. M., Roobab, U., Singh, A., Ibrahim, S. A., & Siddiqui, S. A. (2022). Biocompatible Nanomaterials in Food Science, Technology, and Nutrient Drug Delivery: Recent Developments and Applications. *Frontiers In Nutrition*, 8, 100900. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.778155>
- Rather, A. H., Wani, T. U., Khan, R. S., Pant, B., Park, M., & Sheikh, F. A. (2021). Prospects of Polymeric Nanofibers Loaded with Essential Oils for Biomedical and Food-Packaging Applications. *International Journal Of Molecular Sciences*, 22(8), 4017. <https://doi.org/10.3390/ijms22084017>
- Reichert, C. L., Bugnicourt, E., Coltellini, M., Cinelli, P., Lazzeri, A., Canesi, I., Braca, F., Martínez, B. M., Alonso, R., Agostinis, L., Verstichel, S., Six, L., De Mets, S., Gómez, E. C., Ilßbrücker, C., Geerinck, R., Nettleton, D., Campos, I., Sauter, E., . . . Schmid, M. (2020). Bio-Based packaging: materials, modifications, industrial applications and sustainability. *Polymers*, 12(7), 1558. <https://doi.org/10.3390/polym12071558>

- Richard, N. S. (2022). Edible coatings and the need for biodegradable polymers with focus on dairy products. *Online Journal Of Animal And Feed Research*, 10.51227/ojafr.2022.23.
- Román, M., Nechita, P., Vasile, A., & Ceoromila, A. (2023). Barrier and antimicrobial properties of coatings based on xylan derivatives and chitosan for food packaging papers. *Coatings*, 13(10), 1761. <https://doi.org/10.3390/coatings13101761>
- Romero-Riaño, E., Galeano-Barrera, C. J., Londoño-González, I. A., Guerrero-Santander, C. D., & Martínez-Ardila, H. E. (2022). 20 años de investigación en desempeño de los sistemas de innovación: un análisis de la estructura conceptual. *Revista Ingenio*, 19(1), 1-8. <https://doi.org/10.22463/2011642x.2680>
- Rout, S. S., & Pradhan, K. C. (2024). A review on antimicrobial nano-based edible packaging: Sustainable applications and emerging trends in food industry. *Food Control*, 163, 110470. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110470>
- Sarfraz, M. H., Hayat, S., Siddique, M. H., Aslam, B., Ashraf, A., Saqalein, M., Khurshid, M., Sarfraz, M. F., Afzal, M., & Muzammil, S. (2024). Chitosan based coatings and films: A perspective on antimicrobial, antioxidant, and intelligent food packaging. *Progress In Organic Coatings*, 188, 108235. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2024.108235>
- Sarkar, S., Manna, S., Das, S., De, S., Paul, P., Dua, T. K., Sahu, R., & Nandi, G. (2023). Current status of marine animal derived polysaccharides in sustainable food packaging. *ACS Food Science & Technology*, 3(11), 1877-1889. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.3c00251>
- Sarmiento-Ramírez, Y., Muñoz-Arroyave, E. A., Hechavaría-Pérez, J. R., López-Martínez, A., & Pérez-Cutiño, Y. (2023). Competitividad de ciudades en el contexto latinoamericano: un análisis bibliométrico y de redes sociales. *Revista Española de Documentación Científica*, 46(2), e356. <https://doi.org/10.3989/redc.2023.2.1974>
- Siddiqui, S. A., Khan, S., Mehdizadeh, M., Bahmid, N. A., Adli, D. N., Walker, T. R., Perestrelo, R., & Câmara, J. S. (2023). Phytochemicals and bioactive constituents in food packaging - A systematic review. *Heliyon*, 9(11), e21196. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21196>
- Tao, X., Wang, G., Wei, W., Su, J., Chen, X., Shi, M., Liao, Y., Qin, T., Wu, Y., Lu, B., Liang, H., Ye, L., & Jiang, J. (2024). A bibliometric analysis of m6A methylation in viral infection from 2000 to 2022. *Virology Journal*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12985-024-02294-1>
- Urrutia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135(11), 507-511. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- Vieira, I. R. S., De de Carvalho, A. P. A., & Conte-Junior, C. A. (2022). Recent advances in biobased and biodegradable polymer nanocomposites, nanoparticles, and natural antioxidants for antibacterial and antioxidant food packaging applications. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, 21(4), 3673-3716. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12990>
- Wen, F., Li, P., Yan, H., & Su, W. (2023). Turmeric carbon quantum dots enhanced chitosan nanocomposite films based on photodynamic inactivation technology for antibacterial food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 311, 120784. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120784>
- Zhang, M., Biesold, G. M., Choi, W., Yu, J., Deng, Y., Silvestre, C., & Lin, Z. (2022). Recent advances in polymers and polymer composites for food packaging. *Materials Today*, 53, 134-161. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2022.01.022>
- Zhang, Y., Ling, S., Chen, Y., Qin, X., Wang, K., Zhu, Q., & Liu, Y. (2024). Application of Ag/Tannic acid-FeIII nanocomposite as multifunctional bacteriostatic to enhance the performance of chitosan/gelatin/polyvinyl alcohol complex films. *Food Hydrocolloids*, 147, 109302. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109302>