

ASPECTOS ASOCIADOS AL DISEÑO DE ENVASES INTELIGENTES DE ALIMENTOS Y SU RELACIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

ASPECTS ASSOCIATED WITH THE DESIGN OF SMART FOOD PACKAGING AND ITS RELATIONSHIP WITH THE ENVIRONMENT: A SYSTEMATIC REVIEW

Gerson **Salazar-Miranda**¹; Jedfredy Nick **Vidal-Hume**² y Jhoseline Stayce **Guillén-Sánchez**³

Resumen

Los envases utilizados en alimentos tienen la capacidad de mejorar la calidad de los productos debido a que conservan y comunican el valor y composición nutricional. Por otro lado, los envases inteligentes permiten optimizar su funcionalidad, mejorar la vida útil y abordar problemas de sostenibilidad. El objetivo de la revisión sistemática es analizar los aspectos asociados al diseño de envases inteligentes utilizados en la industria de alimentos y cómo se relaciona con la preservación del medio ambiente, a partir de la literatura científica en el período

2017-2023. Las fuentes de información se recopilaron en la base de datos Scopus a partir de la ecuación de búsqueda que contenía términos asociados a envases inteligentes, industria y medio ambiente. En la primera búsqueda se tuvo 4540 artículos, de los cuales mediante el método PRISMA se seleccionaron 55 artículos. Además, se encontró que más del 20% de los registros provenían de China, seguido de Italia y Brasil, incrementándose a partir del 2020, siendo los descriptores más frecuentes: “packaging materials” y “food packaging”. El 50% de artículos seleccionados abordan temas sobre los

¹ Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. <https://orcid.org/0009-0002-7106-440X>. n00141045@upn.pe

² Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. <https://orcid.org/0009-0002-0840-2074>. n00172778@upn.pe

³ Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. <https://orcid.org/0000-0002-0899-6725>. Autor para correspondencia: jhoselineguillen@gmail.com

beneficios ambientales que tiene el diseño de los envases inteligentes como el uso de materiales reciclables y/o residuos agroindustriales. Además, los aspectos más relevantes a tener en cuenta durante el diseño son la biodegradabilidad, la compatibilidad con alimentos y el costo. En conclusión, el uso de tecnologías avanzadas y residuos orgánicos en la producción de envases mejora la calidad del producto y la experiencia del consumidor, asimismo promueve una gestión sostenible.

Palabras clave: envases inteligentes, diseño, industria de alimentos, biodegradable.

Abstract

Food packaging plays a crucial role in enhancing product quality by preserving and communicating its value and nutritional composition. Moreover, smart packaging technologies offer improved functionality, extended shelf life, and solutions to sustainability challenges. This systematic review aims to examine the design aspects of smart packaging in the food industry and its environmental

implications, drawing from scientific literature published between 2017 and 2023. Data were sourced from the Scopus database using a search equation incorporating terms related to smart packaging, industry, and the environment. The initial search identified 4,540 articles, of which 55 were selected through the PRISMA method. Notably, over 20% of the studies originated from China, followed by Italy and Brazil, with a marked increase in publications since 2020. The most frequently used descriptors were "packaging materials" and "food packaging." Half of the selected articles discussed the environmental benefits of smart packaging design, particularly the use of recyclable materials and agro-industrial waste. Key factors in the design process include biodegradability, food compatibility, and cost efficiency. In conclusion, integrating advanced technologies and organic waste into packaging production not only enhances product quality and consumer satisfaction but also fosters sustainable practices.

Keywords: smart packaging, design, food industry, biodegradable.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el sector alimentario ha demostrado un interés significativo en el diseño de envases inteligentes, debido a su capacidad para gestionar activamente los factores que determinan la calidad de los productos alimenticios envasados y a la protección que brinda a los alimentos de entornos nocivos, a la vez que proporcionan información sobre su composición y valor nutricional (Dirpan et al., 2023; Wing, 2023). Sin embargo, los envases se han convertido en un problema importante para la sostenibilidad ambiental, por lo cual se vienen realizando estudios sobre la utilización de revestimientos eco amigables para reducir al mínimo el uso de plástico (Solano et al., 2018; Roy et al., 2023).

La industria del envasado se enfrenta a un gran desafío en relación a la necesidad de diseñar envases inteligentes que sean ecológicamente saludables, puesto que solo en el año 2020, se produjeron aproximadamente

367 millones de toneladas de contendedores plásticos a nivel mundial (Ducki et al., 2022). La relación entre el diseño inteligente de los envases y la salud ambiental es un problema que ha recibido mucha atención en el negocio alimentario; por ejemplo, los plásticos utilizados en la industria se descomponen en aproximadamente 180 años, y para el año 2050 se prevé que el sector del plástico contribuiría con el 20% del consumo total global de petróleo (López-Aguirre, Pumaquero-Yuquilema y Lopez-Salazar, 2020). Ciravegna (2020) destacó la necesidad de reevaluar el diseño en base a un enfoque sistémico del desarrollo de envases a lo largo de la cadena de suministro, ya que no solo cumple la función de proteger y transportar un producto, sino que también tiene un impacto estético, económico y social.

En ese marco, el desarrollo del diseño de envases inteligentes es un desafío continuo para mejorar la salud ecológica. Específicamente, Santiago et al. (2023) sostuvieron que se requiere considerar la ecología de la información, la inclusión de materiales sostenibles y la mejora de la calidad del producto, en el contexto de los envases. El diseño inteligente de envases puede incorporar la economía circular y la ecología de la información, este último es un subcampo enfocado en la utilización de la tecnología para crear envases capaces de monitorear y transmitir datos sobre el entorno, que buscan mejorar el bienestar medioambiental mediante la reducción de residuos y el consumo sostenible (Acosta, Marrero y Espinosa, 2020). Nadi, Razavi y Shahrampour (2023) señalaron que es vital considerar las consecuencias ecológicas de los envases en múltiples ecosistemas e identificar soluciones que reduzcan la contaminación.

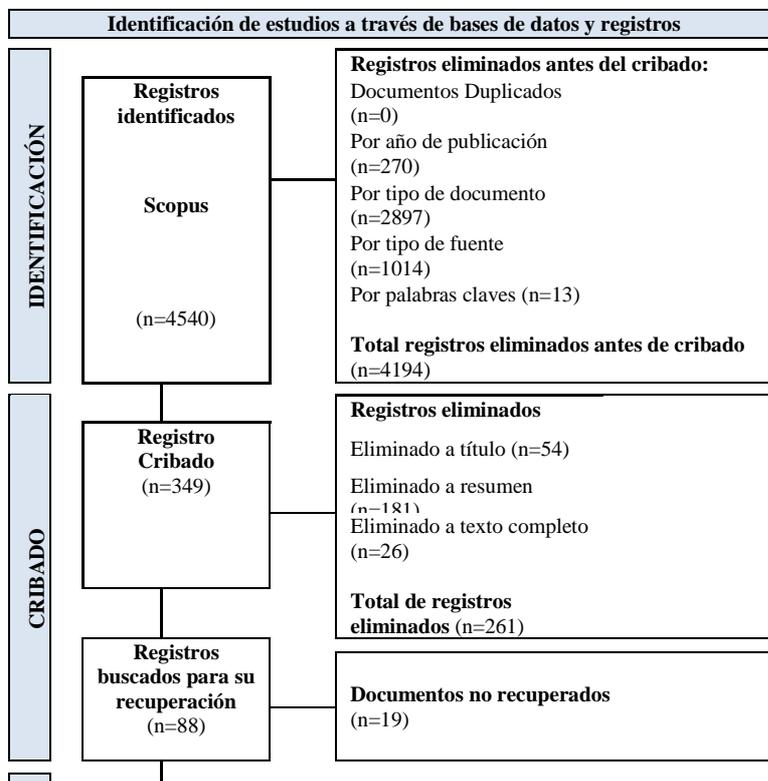
En relación a lo planteado, el presente estudio tiene como objetivo analizar los aspectos asociados al diseño de envases inteligentes utilizados en la industria de alimentos y como se relaciona con la preservación del medio ambiente, a partir de la literatura científica en el período 2017-2023.

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

En general, la recopilación de información para la revisión sistemática se realizó en *Scopus* por ser una base de datos confiable. De tal manera, al realizar la búsqueda inicial se obtuvo una gran cantidad de información, por lo que se aplicó criterios de inclusión; considerando artículos del periodo 2017-2023, tipo de documento (*document type*) y tipo de fuente (*source type*). Respecto a los criterios de inclusión, en tipo de documento se consideró artículo (*article*) y en tipo de fuente se consideró revista (*journal*).

Por otra parte, como criterios de exclusión se consideró artículos fuera del periodo 2017-2023; investigaciones de áreas temáticas no relacionadas con el estudio, y en tipo de documento se excluyó libros (*books*), serie de libros (*book series*) y actas de conferencia (*conference proceeding*).

En particular, como estrategia de búsqueda de información se empleó como operadores lógico AND y OR a fin de unir términos de interés. Cabe precisar que este enfoque resultó en la creación de la siguiente cadena de búsqueda: *((Population) OR (community) OR (company) OR (factory) OR (environment)) AND ((Intelligent AND packaging) OR (clever AND packaging) OR (smart AND packaging) OR (packaging AND with AND technology) OR (digital AND envelopes)) AND ((Ecosystem OR environment))*. Respecto al proceso de selección de estudios, después de la identificación inicial en base a los criterios de inclusión y las estrategias de búsqueda, se seleccionaron los estudios a través de las fases de la técnica PRISMA 2020 (Figura 1).



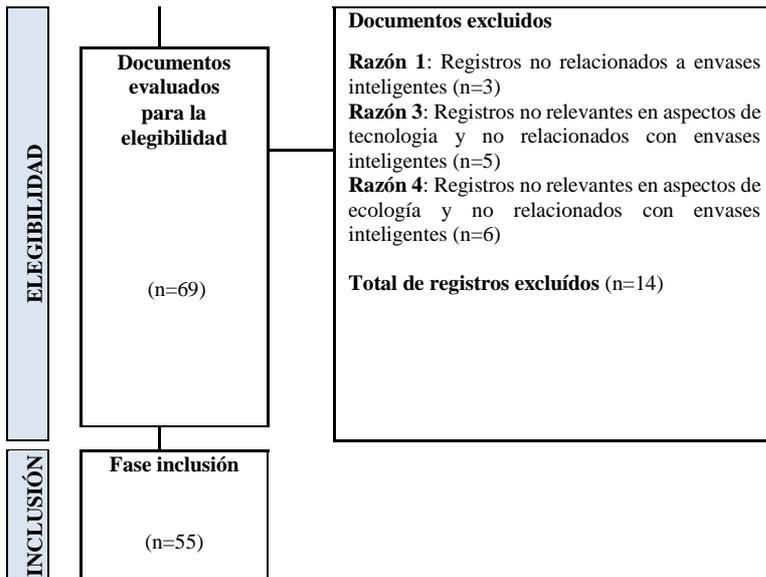


Figura 1. Esquema PRISMA para la identificación de estudios.

RESULTADOS

Selección y análisis descriptivo de los estudios

Según el método PRISMA en la fase de identificación, se eliminaron registros duplicados, registros por año de publicación, tipo de documento, tipo de fuente y palabras clave, lo que resultó en 4194 registros eliminados. En la fase de cribado, de los 349 archivos se eliminaron documentos a título, resumen y texto completo, lo que resultó en 261 artículos que no cumplían con los criterios de inclusión. Al respecto, como resultado se obtuvo 88 registros buscados para su recuperación, de los cuales 19 fueron datos no recuperados.

En la fase de elegibilidad, de los 69 documentos se excluyó 14 registros enfocados en aspectos diferentes a la relación entre envases inteligentes y bienestar ecológico, artículos no relacionados a envases inteligentes, información no relacionada a bienestar ecológico, datos no relevantes en aspectos de tecnología no relacionados con envases inteligentes y archivos no relevantes en aspectos de ecología no relacionados con envases inteligentes. En la fase de inclusión, después de excluir los 14 registros en

la etapa de elegibilidad se seleccionó 55 artículos científicos para la realización de la revisión sistemática.

La figura 2 muestra la distribución de los 45 artículos por año de publicación, respecto al periodo 2017-2023. En concreto se visualiza que el número de documentos publicados aumentó de manera progresiva. En el intervalo 2018-2019 se visualizan 4 publicaciones, mientras que en el rango de tiempo 2021-2022 se observan 23 estudios. Cabe precisar que, el mayor número de registros se publicó en año 2021. Geográficamente hablando, la mayor parte de los registros fueron publicados en China (22,22%), India (8,89%) y Brasil (8,89%) (Figura 2a). El autor con más publicaciones sobre el tema es Poyatos-Racionero y los descriptores más frecuentes son *packaging materials*, *packaging*, *food packaging* y *recycling*. Por otra parte, se visualiza que *packaging materials*, *packaging* y *biodegradable polymers* se relacionan directamente, mientras que *food packaging*, *scanning electron microscopy* y *fourier transform infrared* se complementan (Figura 2b).

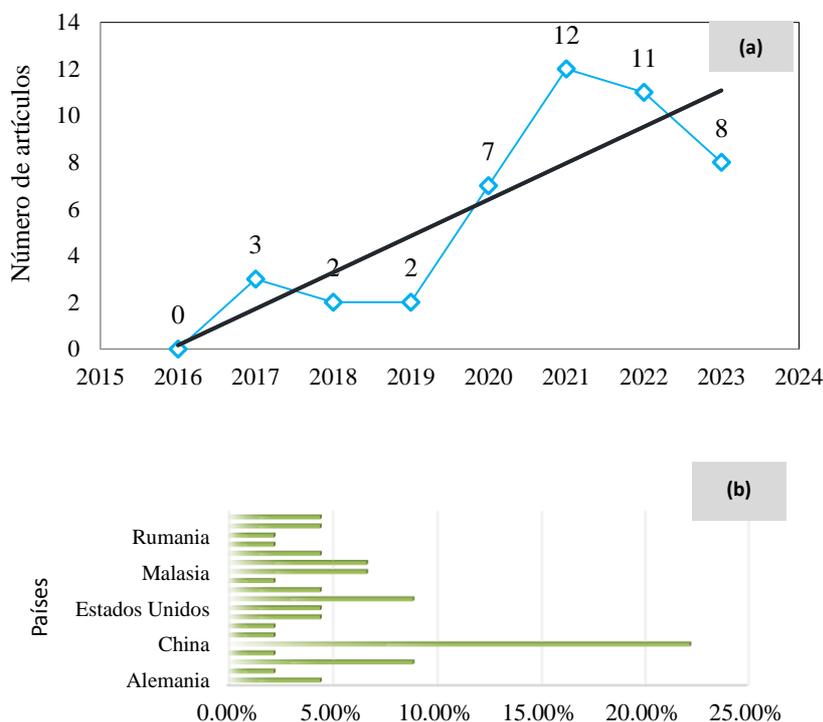


Figura 2. Número de artículos publicados por año (a) y país (b), incluidos en la revisión sistemática. El gráfico se construyó con base en n = 55 artículos.

Perspectivas de estudio y características del diseño de envases inteligentes de alimentos

Los tipos de envases más utilizados en el negocio alimentario, son papel, cartón, plástico y envases de vidrio (n=8), y se dividen en envases primarios, secundarios y terciarios. Daniele et al. (2023) mencionan que los envases primarios contienen directamente a los productos finales y son utilizados para su protección y comercialización, y Foltynowicz (2020) menciona que los envases secundarios se utilizan con fines promocionales, como empaques especiales para atraer la atención del consumidor en puntos de venta, similares a los envases considerados como envases de etiquetado (Hart, Frketic y Brown, 2018). Los envases de presentación incluyen etiquetas y empaques secundarios (Kochańska, Łukasik y Dzikuc, 2021). Para la esquematización de información de los estudios individuales se diseñó mapas mentales mediante la herramienta SmartArt de Word, puesto que permite generar y personalizar diagramas, sustituyendo así el texto con gráficos para transmitir información. En la figura 4, se esquematizó la información en base a Alpaslan et al. (2020), Ardila et al. (2020), Bala et al. (2020), Bansal et al. (2023), Blettler et al. (2023), Carfi y Donato (2022), Chen et al. (2021), Chen et al. (2021), Contessa et al. (2021) y Da Silva et al. (2020); puesto que se encontró que el embalaje inteligente tiene el potencial de ser analizado desde diferentes puntos de vistas que incluyen aumentar el bienestar medioambiental basado en la disminución los desechos y detección de contaminantes, así como el desarrollo de nuevos constituyentes eco amigables en los envases. Se identificaron 10 artículos asociados a beneficios de los envases inteligentes, en los que se detalló la mejora la eficiencia de la cadena de suministro, reducción los costos y mejora de la calidad del producto. Esta información fue organizada en base a los hallazgos encontrados en los estudios de Sharma et al. (2021); Stoica et al. (2020); Wang et al. (2022); Wu et al. (2023); Ferri et al. (2023); Gomes et al. (2022); Guo et al. (2021); Hirth et al. (2021); Long et al. (2022) y Poyatos et al. (2018), quienes sostuvieron que el embalaje inteligente ofrece varios beneficios para el negocio alimentario, incluyendo un aumento de la vida útil y la sostenibilidad de los productos. En esa línea, según el análisis realizado los resultados se logran mediante el uso de la tecnología de envasado inteligente, normas de seguridad alimentaria y el suministro de información adicional sobre el alimento (Figura 3). En relación a la delimitación por país se obtuvo que la mayor parte de los artículos analizados se publicaron en China, esto se fundamenta porque dicho país es la principal fuente productora de envases, con casi el 51% de la producción mundial (5). En estudios provenientes del continente asiático se evidenció la incorporación de sensores e indicadores de calidad en los envases inteligentes

biodegradables, por lo cual estos hallazgos sugieren la adopción de tecnologías innovadoras en el diseño de envases. En el 2022 se visualiza un incremento de seis veces más artículos publicados con respecto al 2019, lo que involucra su importancia en la comunidad científica y en las instituciones. Es por ello que, los países desarrollados se han preocupado en investigar nuevos constituyentes en los envases y el aprovechamiento de muestras y residuos vegetales. Por ejemplo, Mohamad et al. (2023) exploraron el método de fabricación de películas de quitosano que contienen hojas de moringa y nanopartículas de MgO, con el objetivo de utilizarlas de manera frecuente en envases de alimentos y Ardila et al. (2020) crearon y evaluaron las propiedades cromáticas de un material de embalaje inteligente compuesto por acetato de celulosa con el fin de lograr un envasado eficaz.

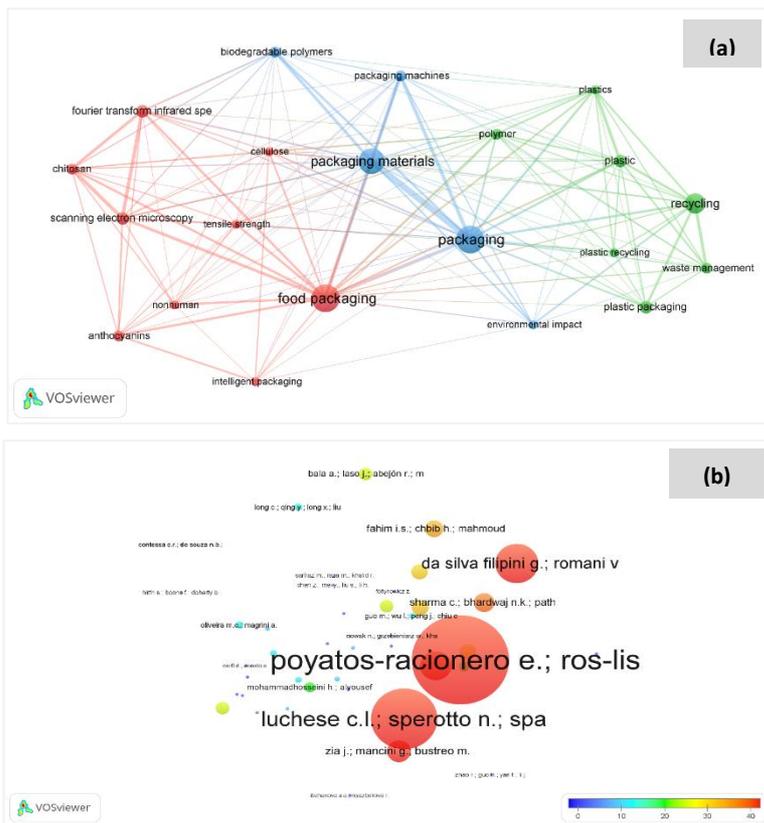


Figura 3. Mapa elaborado por VOSviewer por coocurrencia de palabras claves (a) y autor (b) incluidos en la revisión sistemática. El gráfico se construyó con base en n = 55 artículos.

El impacto generado por los envases inteligentes en la industria de alimentos radica principalmente en el diseño eficiente que incluya sensores o tecnología integrada que permita desempeñar funciones complementarias para que la experiencia del consumidor sea agradable, de esa manera puede tener información a tiempo real de la calidad de los productos que compra y consume, además de aumentar la fidelización por la marca. Desde el enfoque de Zia et al. (2021), Luchese et al., (2017), Piotrowski (2023), Sarfraz et al. (2022), Zhan et al. (2022) y Zhao et al. (2022) se evidenció que los contenedores inteligentes aportan varios beneficios a la industria alimentaria, puesto que las ventajas van desde la prolongación de la vida útil del producto hasta su sostenibilidad. En este sentido, se identificaron 18 artículos asociados al estudio de envases inteligentes enfatizando su relación con el medio ambiente y 9 artículos que enfatizan su relación con la industria alimentaria. A nivel de impacto ambiental, dieciocho artículos evidencian que la sustitución de materiales convencionales por materiales biodegradables en los envases inteligentes son la tendencia en investigaciones que buscan contribuir al bienestar ecológico, así como la gestión de la cadena de suministros, que su mejora puede reducir los efectos negativos de los gases invernaderos y promover el reciclaje. Schenker et al. (2021), Evyan et al. (2022), Ibzhanova et al. (45), Radford et al. (2022), Rai et al. (2017), Sereda y Flores (2023), Yadav y Kaur (2019), Zhao et al. (2022), y Nowak et al. (2022) sostuvieron que para comprender el impacto medioambiental de los subproductos de los envases, es fundamental realizar una evaluación de gestión de residuos de envases alimentarios (Figura 4).

Gasde et al. (2021) señalan que existe una política en la Unión Europea (UE), que a través de una serie de planes de acción medio ambiental y un marco legislativo, busca minimizar la contaminación ambiental originada por lo sectores productivos. Por esa razón, se infiere los países que más investigan pertenecen al contiene europeo, sin embargo, también se ha notado que en lo que va del 2023 hubo un descenso en las publicaciones. Estos resultados permiten comprender el avance de la investigación sobre el diseño inteligente de paquetes y su relación con la sostenibilidad ambiental. Los autores señalan que los envases inteligentes, como los biodegradables y los reciclados, tienen el potencial de mejorar el bienestar medioambiental, sin embargo, los diseñados con materiales biodegradables presentan un menor riesgo para el medio ambiente a comparación de los no se pueden degradar biológicamente. No obstante, en general se requiere la aplicación de medidas preventivas para el uso a largo plazo de los envases inteligentes, puesto que Santiago et al. (2023) y Nadi et al. (2023) han revelado que esta práctica puede ser peligrosa sino se comprueba la compatibilidad de los

materiales con los alimentos. Adicionalmente, respecto a la configuración de envases inteligentes prevalentes, los embalajes activos con extractos naturales, con sensores de temperatura, con indicadores de calidad de los alimentos y empaquetadura biodegradable, presentan combinaciones más comunes y con mayor adopción, por lo que permite actuar de manera más dinámica con el consumidor. En esa línea, según los hallazgos de Alpaslan et al. (2020) y Ardila et al. (2020), la envoltura inteligente tiene el potencial de aumentar el bienestar medioambiental y ofrece varios beneficios para el negocio alimentario.

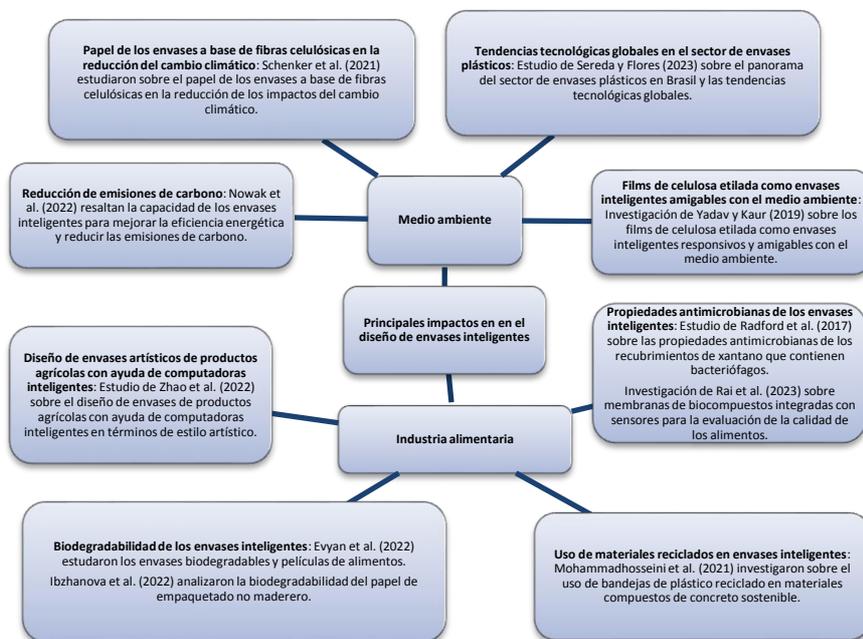


Figura 4. Impacto en el diseño de envases inteligentes en la industria de alimentos y medio ambiente.

En lo que respecta a los hallazgos sobre las variables asociadas al diseño de envases inteligentes y su relación con el bienestar ecológico, se identificó que Fahim et al. (2019) y Ferri et al. (2023), consideraron como información relevante la compatibilidad, la biodegradabilidad y costo. Evaluar la compatibilidad del diseño de envase con alimentos es necesaria para garantizar que el embalaje inteligente no contamina los alimentos que contiene y es seguro para la ingestión. La biodegradabilidad de los materiales utilizados en el diseño es una variable importante a considerar en relación al bienestar

ecológico, ya que permite reducir el impacto ambiental de los residuos plásticos; el extracto de granada; el agar incorporado con bacteriocina de *Lactobacillus sakei* y el extracto de piel de jambolão; son algunos de los materiales biodegradables empleados en la fabricación de empaquetaduras inteligentes. En esa línea, estos diseños se han desarrollado utilizando una variedad de materiales y tecnologías, por lo cual se ha demostrado que tienen potencial para reducir el impacto ambiental generado por el envasado de alimentos (Tabla 1).

Tabla 1. Factores asociados al diseño de envases inteligentes

Constituyentes del envase inteligente	Compatibilidad con alimentos / Costos	Referencia
Polímeros biodegradables	Mejora la conservación de alimentos frescos y minimiza la contaminación microbiana / Costos elevado: 1800 dólares Kg-1	Alpaslan et al. (2020), Blettler et al. (2023), Carfí y Donato (2022), Contessa et al. (2021), Da Silva Filipini et al. (2020), Evyan et al. (2022), Ferri et al. (2023), Gomes et al. (2022), Gzyra et al. (2021), Hart et al. (2018), Hirth et al. (2021), Kochańska et al. (2021), Mohammadhosseini et al. (2021), Nowak et al. (2022), Oliveira y Magrini (2017), Poyatos et al. (2018), Radford et al. (2017), Rai et al. (2023), Sarfraz et al. (2022), Schenker et al. (2021), Sereda y Flores (2023).
Acetato de celulosa	Compatible con alimentos ácidos y grasos / Costos similares a los convencionales	Ardila et al. (2020), Izbhanova et al. (2022)
Polímeros convencionales	Pueden ser compatibles con alimentos de diversos tipos	Chen et al. (2021), Daniele et al. (2023), Foltynowicz (2020), Guo et al. (2021) Y Long et al. (2022)

	dependiendo del diseño y aditivos utilizados / Costos más bajos que los biodegradables: 1300 dólares Tn-1	
Poli Dimetil acrilamida/gelatina y extracto de granada	Biodegradable	Alpaslan et al. (2020)
Acetato de celulosa incorporado con polidiacetileno	No biodegradable	Ardila et al. (2020)
Polímeros convencionales (varios tipos de plásticos)	No biodegradable	Bansal et al. (2023), Blettler et al. (2023), Chen et al. (2021), Chen et al. (2021), Foltynowicz (2020), Gasde et al. (2021), Gzyra et al. (2021), Hirth et al. (2021), Kochańska et al. (2021), Oliveira y Magrini (2017), Radford et al. (2017), Sarfraz et al. (2022), Sereda y Flores (2023), Mohammadhosseini et al. (2021)
Agar incorporado con bacteriocina de lactobacillus sakei	Biodegradable	Contessa et al. (2021)
Metilcelulosa y extracto de piel de jambolão	Biodegradable	Da Silva (2020)
Polihidroxialcanoato/tanino totalmente biobasado	Biodegradable	Ferri et al. (2023)
Bolsas de comida Meal, Ready-to-Eat (MRE)	No biodegradable	Hart et al. (2018)
Ácido poliláctico (PLA)	Biodegradable	Fahim et al. (2019)

Papel de embalaje (no proveniente de madera)	Biodegradable	Ibzhanova et al. (2022)
Papel	Biodegradable	Long et al. (2022)
Almidón de maíz y residuos agroindustriales	Biodegradable	Luchese et al. (2017)
Aceite de oliva ozonizado	Biodegradable	Nowak (2022)

CONCLUSIONES

Los estudios que lideran en investigaciones sobre el diseño de envases inteligentes y medio ambiente, son los provenientes de países como China, Italia y Brasil. Estos son los tres países con mayor cantidad de documentos científicos publicados sobre revistas de envasado de alimentos, bienestar ecológico, reciclaje y envases inteligentes siendo la mayoría de los artículos provenientes del continente europeo y asiático. En el análisis de los 55 artículos extraídos, se comprobó que solo 9 artículos son los estudios relacionados a la fabricación de envases biodegradables, siendo el principal motivo la difícil elaboración de envases con este tipo de materiales orgánicos. Aunque, existen estudios que se enfocan en aprovechar estos residuos como energía a través de combustibles o como abono agrícola. Los hallazgos de la revisión sistemática subrayan la importancia de incorporar envases inteligentes en las operaciones de la cadena de suministro de la industria alimentaria a fin de mejorar la sostenibilidad medioambiental y la eficacia de abastecimiento. Por otro lado, se concluye que en su mayoría los residuos orgánicos provienen de los desechos agroindustriales y que estos se pueden aprovechar para el sector productivo, uno de ellos es el agrícola y la industria en fabricación de envases ecosostenibles, que busca la reducción actual de fabricación de plásticos dañinos para el medio ambiente. Además, que el correcto aprovechamiento de los desechos orgánicos impacta en forma positiva en el medio ambiente, ya que se aprecia una disminución en la emisión de gases de efecto invernadero dejando una huella verde en el ecosistema.

Contribución de los autores

GSM: Concepción de la idea, tratamiento de datos, análisis de datos, escritura del manuscrito.

JNVH: Concepción de la idea, tratamiento de datos, análisis de datos, escritura del manuscrito.

JSGS: Concepción de la idea, verificación de métodos analíticos, supervisión de la investigación y resultados del trabajo, y visualización del manuscrito versión final.

LITERATURA CITADA

- Acosta, I., Marrero, F. y Espinosa, J. U. (2020). La economía circular como contribución a la sostenibilidad en un destino turístico cubano de sol y playa. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 29(2), 406–425. <https://www.redalyc.org/journal/1807/180763168005/180763168005.pdf>
- Alpaslan, D., Dudu, T. E., Şahiner, N., y Aktaş, N. (2020). Synthesis and preparation of responsive poly(Dimethyl acrylamide/gelatin and pomegranate extract) as a novel food packaging material. *Materials Science and Engineering C*, 108(October 2018), 110339. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.110339>
- Ardila-Díaz, L. D., de Oliveira, T. V., y Soares, N. de F. F. (2020). Development and evaluation of the chromatic behavior of an intelligent packaging material based on cellulose acetate incorporated with polydiacetylene for an efficient packaging. *Biosensors*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/BIOS10060059>
- Bala, A., Laso, J., Abejón, R., Margallo, M., Fullana-i-Palmer, P., y Aldaco, R. (2020). Environmental assessment of the food packaging waste management system in Spain: Understanding the present to improve the future. *Science of the Total Environment*, 702, 134603. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134603>
- Bansal, S., Singh Kushwah, S., Garg, A., y Sharma, K. (2023). Utilization of plastic waste in construction industry in India – A review. *Materials Today: Proceedings*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.693>
- Blettler, M. C. M., Agustini, E., Abrial, E., Piacentini, R., Garello, N., Wantzen, K. M., Vega, M. G., y Espinola, L. A. (2023). The

challenge of reducing macroplastic pollution: Testing the effectiveness of a river boom under real environmental conditions. *Science of the Total Environment*, 870(January), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161941>

- Carfí, D., y Donato, A. (2022). Plastic-Pollution Reduction and Bio-Resources Preservation Using Green-Packaging Game Coopetition. *Mathematics*, 10(23), 1–20. <https://doi.org/10.3390/math10234553>
- Chen, X., Kroell, N., Dietl, T., Feil, A., y Greiff, K. (2021). Influence of long-term natural degradation processes on near-infrared spectra and sorting of post-consumer plastics. *Waste Management*, 136(July), 213–218. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.10.006>
- Chen, Z., Mei, Y., Liu, S., Li, H., Liu, L., Lei, X., Zhou, Y., y Gao, X. (2021). Reliability in Electronic Packaging: Past, Now and Future. *Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Mechanical Engineering*, 57(16), 248–268. <https://doi.org/10.3901/JME.2021.16.248>
- Ciravegna, E. (2020). Repensar los envases en tiempos de crisis: implicancias éticas y enfoque sistémico en el Diseño de Packaging. *RChD: creación y pensamiento*, 5(9), 1. <https://doi.org/10.5354/0719-837x.2020.59536>
- Contessa, C. R., de Souza, N. B., Gonçalo, G. B., de Moura, C. M., da Rosa, G. S., y Moraes, C. C. (2021). Development of active packaging based on agar-agar incorporated with bacteriocin of lactobacillus sakei. *Biomolecules*, 11(12), 1–9. <https://doi.org/10.3390/biom11121869>
- da Silva Filipini, G., Romani, V. P., y Guimarães Martins, V. (2020). Biodegradable and active-intelligent films based on methylcellulose and jambolão (*Syzygium cumini*) skins extract for food packaging. *Food Hydrocolloids*, 109(May). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106139>
- Daniele, R., Armoni, D., Dul, S., y Alessandro, P. (2023). From Nautical Waste to Additive Manufacturing: Sustainable Recycling of High-Density Polyethylene for 3D Printing Applications. *Journal of Composites Science*, 7(8). <https://doi.org/10.3390/jcs7080320>
- Dirpan, A., Hidayat, S. H., Djalal, M., Ainani, A. F., Yolanda, D. S., Kasmira, Khosuma, M., Solon, G. T., y Ismayanti, N. (2023). Trends over the last 25 years and future research into smart packaging for food: A review. *Future Foods*, 8(August), 100252. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100252>

- Ducki, K., Orynych, O., Wasiak, A., Gola, A., y Mieszkalski, L. (2022). Potential Routes to the Sustainability of the Food Packaging Industry. *Sustainability* (Switzerland), 14(7). <https://doi.org/10.3390/su14073924>
- Evyan, Y. C. Y., Liew, M. S., Patricia, J., Chong, M. Y., y Zairul, Z. A. (2022). Biodegradable food packaging and film: a short review. *Food Research*, 6, 1–12. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(S1\).007](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(S1).007)
- Fahim, I. S., Chbib, H., y Mahmoud, H. M. (2019). The synthesis, production y economic feasibility of manufacturing PLA from agricultural waste. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 12(March), 100142. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2019.100142>
- Ferri, M., Papchenko, K., Degli Esposti, M., Tondi, G., De Angelis, M. G., Morselli, D., y Fabbri, P. (2023). Fully Biobased Polyhydroxyalkanoate/Tannin Films as Multifunctional Materials for Smart Food Packaging Applications. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 15(23), 28594–28605. <https://doi.org/10.1021/acsami.3c04611>
- Foltynowicz, Z. (2020). Polymer packaging materials - Friend or foe of the circular economy. *Polimery/Polymers*, 65(1), 1–7. <https://doi.org/10.14314/POLIMERY.2020.1.1>
- Gasde, J., Woidasky, J., Moesslein, J., y Lang-Koetz, C. (2021). Plastics recycling with tracer-based-sorting: Challenges of a potential radical technology. *Sustainability* (Switzerland), 13(1), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su13010258>
- Gomes, V., Pires, A. S., Mateus, N., de Freitas, V., y Cruz, L. (2022). Pyranoflavylum-cellulose acetate films and the glycerol effect towards the development of pH-freshness smart label for food packaging. *Food Hydrocolloids*, 127(January). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107501>
- Guo, M., Wu, L., Peng, J., y Chiu, C. H. (2021). Research on environmental issue and sustainable consumption of online takeout food—practice and enlightenment based on china’s meituan. *Sustainability* (Switzerland), 13(12). <https://doi.org/10.3390/su13126722>
- Gzyra-Jagiela, K., Sulak, K., Draczyński, Z., Podzimek, S., Gałecki, S., Jagodzińska, S., y Borkowski, D. (2021). Modification of poly(Lactic acid) by the plasticization for application in the packaging industry. *Polymers*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/polym13213651>

- Hart, K. R., Frketic, J. B., y Brown, J. R. (2018). Recycling meal-ready-to-eat (MRE) pouches into polymer filament for material extrusion additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, 21, 536–543. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.04.011>
- Hirth, S., Boons, F., y Doherty, B. (2021). Unpacking food to go: Packaging and food waste of on the go provisioning practices in the UK. *Geoforum*, 126, 115–125. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2021.07.022>
- Ibzhanova, A. A., Niyazbekova, R. K., Al Azzam, K. M., Negim, E. S., Serekpaveva, M. A., y Akibekov, O. S. (2022). Biodegradability of Non-wood Packaging Paper. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(10), 131–139. <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2022.110548.5033>
- Kochańska, E., Łukasik, R. M., y Dzikuć, M. (2021). New circular challenges in the development of take-away food packaging in the covid-19 period. *Energies*, 14(15), 1–18. <https://doi.org/10.3390/en14154705>
- Long, C., Qing, Y., Long, X., Liu, N., Xu, X., An, K., Han, M., Li, S., y Liu, C. (2022). Synergistic reinforced superhydrophobic paper with green, durability, and antifouling function. *Applied Surface Science*, 579, 152144. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.152144>
- López-Aguirre, J., Pumaquero-Yuquilema, J., y Lopez-Salazar, J. (2020). Análisis de la contaminación ambiental por plásticos. *Polo del Conocimiento*, 5(12), 725–742. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i12.2139>
- Luchese, C. L., Sperotto, N., Spada, J. C., y Tessaro, I. C. (2017). Effect of blueberry agro-industrial waste addition to corn starch-based films for the production of a pH-indicator film. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.149>
- Mohamad, E. A., Shehata, A. M., Abobah, A. M., Kholief, A. T., Ahmed, M. A., Abdelhakeem, M. E., Dawood, N. K., y Mohammed, H. S. (2023). Chitosan-based films blended with moringa leaves and MgO nanoparticles for application in active food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253(P6), 127045. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127045>
- Nadi, M., Razavi, S. M. A., y Shahrampour, D. (2023). Fabrication of green colorimetric smart packaging based on basil seed gum/chitosan/red

- cabbage anthocyanin for real-time monitoring of fish freshness. *Food Science and Nutrition*, April, 6360–6375. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3574>
- Nowak, N., Grzebieniarczyk, W., Khachatryan, G., Konieczna-Molenda, A., Krzan, M., y Khachatryan, K. (2022). Preparation of nano/microcapsules of ozonated olive oil in chitosan matrix and analysis of physicochemical and microbiological properties of the obtained films. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 82(July), 103181. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103181>
- Oliveira, M. C., y Magrini, A. (2017). Life cycle assessment of lubricant oil plastic containers in Brazil. *Sustainability (Switzerland)*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/su9040576>
- Piotrowski, N. (2023). Machine learning approach to packaging compatibility testing in the new product development process. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1223. <https://doi.org/10.1007/s10845-023-02090-8>
- Poyatos-Racionero, E., Ros-Lis, J. V., Vivancos, J. L., y Martínez-Mañez, R. (2018). Recent advances on intelligent packaging as tools to reduce food waste. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3398–3409. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.075>
- Radford, D., Guild, B., Strange, P., Ahmed, R., Lim, L. T., y Balamurugan, S. (2017). Characterization of antimicrobial properties of Salmonella phage Felix O1 and Listeria phage A511 embedded in xanthan coatings on Poly(lactic acid) films. *Food Microbiology*, 66, 117–128. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.04.015>
- Rai, P., Verma, S., Mehrotra, S., Priya, S., y Sharma, S. K. (2023). Sensor-integrated biocomposite membrane for food quality assessment. *Food Chemistry*, 401, 134180. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134180>
- Roy, S., Chawla, R., Santhosh, R., Thakur, R., Sarkar, P., y Zhang, W. (2023). Agar-based edible films and food packaging application: A comprehensive review. *Trends in Food Science and Technology*, 141(October), 104198. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104198>
- Santiago Celi-Simbaña, S., Sebastián, D., Teddy, A., Bermeo, I., Iv, S., Ii, A.-M., y Loza, S. J. (2023). Microplásticos, un problema de salud pública emergente. *Revista Información Científica*, 102(1028–9933), 1–12. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8105111>

- Sarfraz, M., Raza, M., Khalid, R., Liu, T., Li, Z., y Niyomdecha, L. (2022). Consumer Purchasing Behavior Toward Green Environment in the Healthcare Industry: Mediating Role of Entrepreneurial Innovation and Moderating Effect of Absorptive Capacity. *Frontiers in Public Health*, 9(February), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.823307>
- Schenker, U., Chardot, J., Missoum, K., Vishtal, A., y Bras, J. (2021). Short communication on the role of cellulosic fiber-based packaging in reduction of climate change impacts. *Carbohydrate Polymers*, 254(October 2020), 117248. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117248>
- Sereda, L., y Flores-Sahagun, T. H. S. (2023). Panorama of the Brazilian Plastic Packaging Sector and Global Technological Trends: the Role of Developed and Developing Countries in Achieving Environmental Sustainability and a Better Quality of Life Worldwide. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 13(3), 33263. <https://doi.org/10.33263/BRIAC133.244>
- Sharma, C., Bhardwaj, N. K., y Pathak, P. (2021). Static intermittent fed-batch production of bacterial nanocellulose from black tea and its modification using chitosan to develop antibacterial green packaging material. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123608. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123608>
- Solano-Doblado, L. G., Alamilla-Beltrán, L., y Jiménez-Martínez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 21, 30. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>
- Stoica, M., Marian Antohi, V., Laura Zlati, M., y Stoica, D. (2020). The financial impact of replacing plastic packaging by biodegradable biopolymers - A smart solution for the food industry. *Journal of Cleaner Production*, 277, 124013. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124013>
- Wang, Q., Chen, W., Ma, C., Chen, S., Liu, X., y Liu, F. (2022). Enzymatic synthesis of sodium caseinate-EGCG-carboxymethyl chitosan ternary film: Structure, physical properties, antioxidant and antibacterial properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 222, 509–520. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.09.138>
- Wing Fu, L. (2023). Design and application of self-healable polymeric films and coatings for smart food packaging. *npj Science of Food*, 7(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41538-023-00185-3>

- Wu, Y., Xu, F., Zhao, H., Wu, H., Sun, C., y Li, Q. (2023). Furoic acid-mediated konjac glucomannan/flaxseed gum based green biodegradable antibacterial film for Shine-Muscat grape preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 126883. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126883>
- Yadav, N., y Kaur, R. (2019). Environment friendly qualitatively responsive ethyl cellulose films as smart food packaging. *Materials Express*, 9(7), 792–800. <https://doi.org/10.1166/mex.2019.1559>
- Yuan, Z. (2023). Retracted: Application of Green Ecological Design in Food Packaging Design. *Journal of Food Quality*, 2023, 1–1. <https://doi.org/10.1155/2023/9854783>
- Zhan, L., Zhang, Q., Bulati, A., Wang, R., y Xu, Z. (2022). Characteristics of microplastics and the role for complex pollution in e-waste recycling base of Shanghai, China. *Environment International*, 169(August), 107515. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107515>
- Zhao, R., Guo, H., Yan, T., Li, J., Xu, W., Deng, Y., Zhou, J., Ye, X., Liu, D., y Wang, W. (2022). Fabrication of multifunctional materials based on chitosan/gelatin incorporating curcumin-clove oil emulsion for meat freshness monitoring and shelf-life extension. *International Journal of Biological Macromolecules*, 223, 837–850. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.10.271>
- Zhao, Z., Zheng, H., y Liu, Y. (2022). The appearance design of agricultural product packaging art style under the intelligent computer aid. *Computer-Aided Design and Applications*, 19(S3), 164–173. <https://doi.org/10.14733/CADAPS.2022.S3.164-173>
- Zia, J., Mancini, G., Bustreo, M., Zych, A., Donno, R., Athanassiou, A., y Fragouli, D. (2021). Porous pH natural indicators for acidic and basic vapor sensing. *Chemical Engineering Journal*, 403, 126373. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126373>