

Contribuciones de los empaques activos e inteligentes a la seguridad alimentaria y el cuidado del medio ambiente

Contributions of active and intelligent packaging to food safety and environmental care

Eduardo Argote Ortiz^{1*}, Aidé Sáenz-Galindo^{1*}, Adalí Oliva Castañeda Facio¹, Raúl Rodríguez Herrera, José Fernando Solanilla Duque²

¹ Universidad Autónoma de Coahuila. Facultad de Ciencias Químicas, Ing. J. Cárdenas Valdez S/N, República, 25280, Saltillo, Coahuila, México.

² Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agrarias, Vereda Las Guacas, Popayán, Cauca, Colombia.

*Correspondencia para autor: Aidé Sáenz Galindo

Universidad Autónoma de Coahuila

Correo electrónico: aidesaenz@uadec.edu.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7554-7439>

ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Aide_Galindo

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56000878400>

Resumen

Una de las problemáticas que se viven en el mundo actual se relaciona con los plásticos de un solo uso en la conservación de la calidad y seguridad de los alimentos. Los residuos generados por estos plásticos no tienen una correcta disposición final, en su mayoría se encuentran en vertederos y fuentes hídricas. A esto se le suma que en los procesos de recolección, distribución y almacenamiento de los alimentos se generan un 14% en pérdidas y 17% en desperdicios. Una de las alternativas viables y de interés científico son los empaques activos e inteligentes, dado que se pueden emplear en su fabricación materiales, aditivos y recursos renovables como la nanocelulosa, quitosano, antocianinas, entre otras. Este tipo de materiales pueden contrarrestar los problemas de contaminación ambiental y a su vez asegurar la conservación, protección de la calidad y seguridad de los alimentos. Por lo cual, hoy existe la tendencia de un 38% de los consumidores latinoamericanos al uso de este tipo de empaques, ya que brinda mayor sostenibilidad hacia un futuro. Así mismo investigaciones recientes demuestran que productos como el queso, la carne de cerdo, el pan y el tomate, pueden prolongar su vida útil en 40, 9, 10 y 22 días respectivamente. Por efectos antimicrobianos, antioxidantes y de barrera que generan estas nuevas fuentes de materiales. Por consiguiente, el objetivo de esta revisión se basa en exponer la importancia de los envases activos e inteligentes a partir de fuentes renovables, los cuales presentan potencial en la sustitución de plásticos sintéticos, debido a que poseen buena estabilidad térmica, propiedades mecánicas (mayor resistencia a la tensión), mejor capacidad de barrera contra vapor de agua, actividad antimicrobiana y biodegradabilidad.

Palabras clave: renovable, alimentos, envase activo, envase inteligente, nanocompuestos

Summary

One of the problems experienced in today's world is related to single-use plastics in preserving the quality and safety of food. The waste generated by these plastics does not have a correct final disposal; most of it is found in landfills and water sources. Added to this is that the processes of food collection, distribution and storage generate 14% losses and 17% waste. One of the viable alternatives and of scientific interest are active and intelligent packaging, given that renewable materials, additives and resources such as nanocellulose, chitosan, anthocyanins, among others, can be used in their manufacturing. This type of materials can counteract environmental contamination problems and at the same time ensure the conservation, protection of quality and safety of food. Therefore, today there is a

tendency for 38% of Latin American consumers to use this type of packaging, since it provides greater sustainability for the future. Likewise, recent research shows that products such as cheese, pork, bread and tomatoes can extend their shelf life by 40, 9, 10 and 22 days respectively. Due to antimicrobial, antioxidant and barrier effects generated by these new sources of materials. Therefore, the objective of this review is based on exposing the importance of active and intelligent packaging from renewable sources, which have potential in replacing synthetic plastics, because they have good thermal stability, mechanical properties (greater resistance to tension), better barrier capacity against water vapor, antimicrobial activity and biodegradability.

Keywords: renewable, food, active packaging, intelligent packaging, nanocomposites

Introducción

Hoy en día los plásticos ocupan un lugar importante en las actividades humanas, dado que en la mayor parte de estas se utiliza algún tipo, convirtiéndose en una de las columnas de la economía global. Sus primeros usos datan a inicios del siglo XX con aplicaciones militares. Luego de la segunda guerra mundial, se generalizó el uso de plásticos sintéticos en aplicaciones no militares. Es así, que para el año 1950 la producción se estimó en 2 millones de toneladas-al año y para el año 2018 la producción registró un aumento de 359 millones de toneladas-al año, lo que indica un alza considerable en su uso, principalmente en la industria del empaque y embalaje con un 30% de la producción mundial de plástico (Rahardiyan y col., 2023).

El desarrollo de envases de un solo uso a partir de materiales sintéticos para alimentos se ha vinculado con la generación de desechos, que finalmente terminan acumulándose en vertederos o en la mayoría de entornos naturales, causando contaminación ambiental y en los peores casos riesgos a la salud humana. Seguido a esta problemática, se encuentra la eliminación de estos materiales debido a su bajo grado de descomposición, estos pueden degradarse en pequeñas partículas (microplásticos y nanoplásticos) mediante procesos físicos y químicos, con la particularidad que pueden ser fácilmente transportados por el aire o efluentes acuáticos terminando en los ambientes terrestres, oceánico y también se ha evidenciado presencia en la sangre humana (Amin y col., 2022; Thomas y col., 2023; Yin y col., 2023).

En base a lo reportado surge la necesidad de buscar alternativas que reduzcan los riesgos de salud y la contaminación ambiental. Por lo tanto, en los últimos años la implementación de nuevos biomateriales a partir de fuentes naturales renovables

como los polisacáridos, proteínas o lípidos que, por su amplia disponibilidad y a través de los avances en la ciencia y tecnología pueden emplearse en la creación de películas, recubrimientos, empaques activos o inteligentes y biocompuestos biodegradables que reemplacen los materiales sintéticos. Además, estos avances brindan la oportunidad de convertir los desechos alimentarios y agrícolas en nuevos recursos biomateriales (R y col., 2021; Sobhan y col., 2020; Verma y col., 2023).

De este grupo de materiales se destacan los empaques activos e inteligentes para los alimentos, debido a las cualidades y características que presentan que los hace populares entre los clientes, aunque su limitación sea su consumo energético y su alto impacto ambiental en la producción. Los envases inteligentes se caracterizan por brindar información sobre la calidad del alimento, mientras que los envases activos mantienen o mejoran la calidad de los productos que contienen. La demanda de este tipo de materiales está incrementando y se espera que el año 2023 alcance los 62540 millones de dólares (Amin y col., 2022; Sobhan y col., 2020).

En base a ello, el estudio y el crecimiento de materiales a base de biopolímeros naturales renovables son una alternativa de reemplazo, aunque estos biomateriales presentan limitaciones en propiedades mecánicas, térmicas o de conductividad eléctrica además se presentan ciertas dificultades en su procesamiento, por lo cual se hace necesario el desarrollo de nuevos materiales que se ajusten a las características de los envases inteligentes y activos. Por otro lado, los envases deben proporcionar la protección química y biológica de los alimentos. Es decir, en la protección química se debe prevenir la descomposición causada por los gases como oxígeno, cambios de temperatura, humedad relativa, exposición a la luz y, finalmente, contrarrestar la actividad microbiana. Otros factores intrínsecos son la actividad del agua, el valor del pH, el oxígeno disponible, los nutrientes y los conservantes, los cuales afectan la vida útil del alimento (Amin y col., 2022; Sobhan y col., 2020).

Por lo cual, el envase tiene un gran reto por la protección necesaria que requiere cada alimento para conservar su calidad hasta que llega al consumidor final. Es por esto que actualmente está en crecimiento la producción de biomateriales como polímeros compostables y biodegradables en el envasado de alimentos (Senthilkannan Subramanian, 2021; Thomas y col., 2023). El objetivo es generar beneficios para la salud humana y el medio ambiente, reduciendo las emisiones de gases, disminuyendo los desechos de plástico sintético y su acumulación en vertederos, todo esto sin que se deteriore la calidad y seguridad de alimentos y bebidas. Además, la humanidad está tomando conciencia de las economías emergentes, con la que se quiere incrementar la compra de envases sostenibles (Senthilkannan Subramanian, 2021; Thomas y col., 2023).

La finalidad de esta revisión bibliográfica es dar a conocer la importancia que tienen los empaques activos e inteligentes en alimentos, en el cuidado del medio ambiente sin dejar de lado la protección y seguridad de la calidad en alimentos.

Alimentos y sus problemas

Los alimentos en su mayoría se producen a pequeña escala por agricultores, familiares y comercializadores locales o regionales, estos son importantes porque contribuyen a la seguridad alimentaria (Requier y col., 2023). Los informes de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) muestran que el 14 % y el 17 % de la producción alimentaria mundial sigue perdiéndose después de recolectarse, antes de llegar a las tiendas o acaba siendo desperdiciado en la venta al por menor y por los consumidores, especialmente en los hogares (De Luca, R., 2022).

Por estas razones, hoy en día, se requiere que los alimentos sean confiables, garantizando su calidad e inocuidad, que sean accesibles y suficientemente nutritivos (Nguyen y col., 2023). Para garantizar la calidad e inocuidad de los alimentos se han desarrollado diversas investigaciones, con el objetivo de disminuir los riesgos generados por bacterias, hongos, protozoos y virus. Estos microorganismos causan en los alimentos cambios físico-químicos o metabólicos, por lo cual, ya no estarían aptos para el consumo humano. Los cambios se deben a su rancidez, reacciones enzimáticas o no enzimáticas u oxidación de lípidos y cuando se detectan por tacto, olor, sabor, o visión (como presencia de hongos) se dice que el alimento se ha deteriorado (Priyanka y col., 2023; Sorokowski y col., 2023; Zidan y col., 2023).

Envase y embalaje en la distribución de alimentos

Entre las operaciones que ayudan a reducir las pérdidas de alimentos se encuentra, la correcta distribución de alimentos y para esto es importante el envasado de alimentos. La función principal de los envases de alimentos es prevenir el desarrollo de bacterias, proteger de cambios químicos y exposiciones ambientales durante el período de almacenamiento y distribución. La mayoría de los envases de alimentos están elaborados a partir de polímeros sintéticos. Estos polímeros presentan múltiples características que los hacen atractivos, entre las cuales se destacan: peso ligero, capacidad de barrera, resistencia mecánica, bajo costo y facilidad en su procesamiento. Además, proporcionan variedad de productos como bolsas, películas, recipientes de espuma y rígidos entre otras piezas para aplicaciones de embalaje alimentarias, médicas, de tipo duraderas y de un solo uso (Amin y col., 2022; Priyanka y col., 2023; R y col., 2021; Zidan y col., 2023).

Los consumidores cada vez buscan y aumentan la demanda de productos que se encuentren mínimamente procesados y envasados, en base a ello, crece la necesidad de emplear más envases. La limitación que se encuentra en el uso de envases surge por su disposición final, su eliminación ha causado grandes afectaciones al medio ambiente, por ende, los científicos centran todos sus esfuerzos en la búsqueda de materiales biodegradables que cumplan con las exigencias del mercado y a su vez reduzcan el impacto ambiental, a raíz de la creciente demanda de envases, en los últimos años aumentó la interacción entre tecnologías verdes o renovables y biomateriales (Dharini y col., 2022; R y col., 2021; Shih & Zhao, 2021).

Desde el siglo XVIII los envases han sido utilizados en alimentos, con mayores avances tecnológicos a partir del siglo XX. En esta nueva era se destacan los indicadores de gases, la identificación por radiofrecuencia, el envasado activo e inteligente y los indicadores de cocción por microondas, todos enfocados a preservar o mejorar la calidad, seguridad y la vida útil (Priyanka y col., 2023).

Envases activos e inteligentes

Los diferentes avances tecnológicos se basan en el desarrollo e investigación de nuevos envases cada vez más sofisticados, eficientes, sostenibles y reciclables, como lo son los envases activos e inteligentes. En la tabla 1 se muestran los envases y embalajes que se han venido empleando a través del tiempo, desde los más convencionales hasta los más modernos de la industria de envasado de alimentos.

Tabla 1. Envases y embalajes convencionales y modernos.

Envases y embalajes convencionales		Envases y embalajes modernos	
Materiales naturales	Hojas de plátano, loto, palma, bambú, cáscaras de coco y mariscos, piel de animales.	Mejorados	nanorecubrimiento, nanolaminación y nanoarcilla
Polímeros a base de petróleo	tereftalato de polietileno (PET), polietileno (PE), poliestireno (PS) y polipropileno (PP).	Envases activos	Antimicrobiano, eliminador de oxígeno, Absorbente de rayos UV
Otros	Papel aluminio y papel.	Envases inteligentes	Indicadores de oxígeno, de CO ₂ , de tiempo de temperatura, de frescura y pH.

Fuente: Priyanka y col., (2023).

A continuación, en la figura 1, se señalan las funciones y el mecanismo por el cual los envases activos e inteligentes ayudan a conservar y/o mejorar la calidad y seguridad de los alimentos.

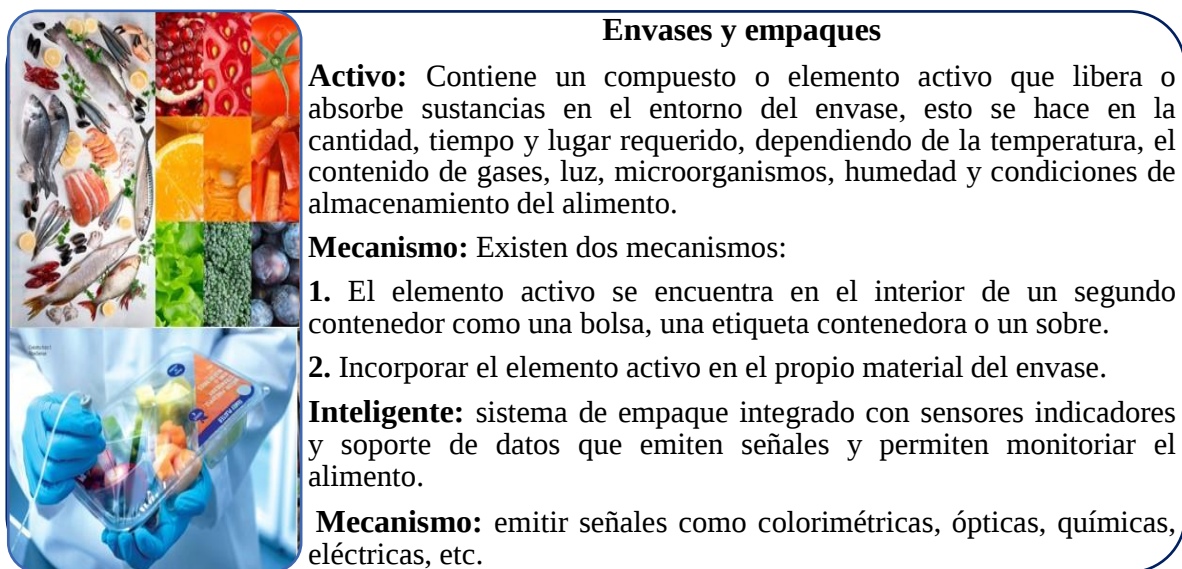


Figura 1. Esquema de función y mecanismo de los envases activos e inteligentes (Dirpan y col., 2023; Du y col., 2023).

De acuerdo a la Figura 1 la calidad y seguridad de los alimentos se relacionan en gran parte con los materiales y tecnologías aplicadas a los envases. Por ejemplo, en la calidad de la carne resulta más eficaz su gestión, si se encuentra un indicador donde se logre observar la pérdida de la frescura o su deterioro. Nuevas tecnologías como los empaques inteligentes pueden proporcionar información de la calidad del alimento por medio de señales de diferente tipo indicando si está descompuesto o deteriorado (Q. Guo y col., 2023). Con base a lo anterior, en la tabla 2 se expone los tipos con su funcionalidad de envases activos e inteligentes.

Tabla 2. Tipos de envases activos e inteligentes con su funcionalidad

EMPAQUES ACTIVOS		
Tipos	Clase	Función
Activos absorbentes	Eliminador de Oxígeno	Barrera contra el oxígeno en alimentos que son sensibles al O ₂ .
	Eliminador de Humedad	Dos tipos, absorbente de líquidos y deshumidificantes. Ayudan a eliminar la humedad y prevenir el aumento de la actividad de agua.
	Eliminador de Etileno	Retrasan la descomposición de los alimentos, mejorando así su calidad y ampliando su vida útil.

Activos emisores	Emisor de Antioxidantes	Previenen la oxidación lipídica mediante la introducción del antioxidante en alguna capa del empaque.
	Emisor de CO ₂	Previenen el crecimiento de microbios, por medio del efecto antimicrobiano del CO ₂ .
	Otros Tipos	Envase antimicrobiano, con el uso de enzimas hasta ácidos orgánicos y aceites esenciales.
Reguladores de temperatura	Autoenfriables o autocalentables	Capacidad de controlar la temperatura de los productos, enfriándolos o calentándolos.
EMPAQUES INTELIGENTES		
Tipos		Función
Sensores	Sensores de oxígeno que alertan del peligro de oxidación de alimento.	
Indicadores	Proporcionan información en cambios de tiempo-temperatura, de fuga, de pH y grado de frescura que se hayan podido producir en el producto.	
Identificadores	Informar de manera instantánea sobre el producto, por medio de códigos de barras, QR o placas de radiofrecuencia.	

Fuente: The circular campus., (2022).

Un ejemplo de indicadores en envases son las betalaínas, es compuesto bioactivo utilizado como indicador de pH, Abedi-Firoozjah y col. (2023) realizaron una revisión con enfoque en betalaínas para aplicaciones en envases inteligentes como indicadores de pH y amoníaco, en el proceso de control de la frescura de alimentos como pescado, camarones, pollo y leche. Las betalaínas podría aumentar la resistencia mecánica y al agua, además posee efectos antioxidantes y antimicrobianas. En conclusión, la inclusión de betalaínas como: betacianinas y betanina en sistemas de envasado inteligentes/activos podría prolongar la vida útil de los alimentos y reducir el desperdicio (Abedi-Firoozjah y col., 2023).

Ahora bien, ya entendiendo y definiendo las funciones que deben cumplir los envases y embalajes para evitar el deterioro y la pérdida de los alimentos, se mencionaran algunos productos y fuentes de envases para que cumplan con dicha función, además de ayudar en la preservación y cuidado del medio ambiente.

Películas poliméricas a partir de biopolímeros para aplicaciones en envases activos e inteligentes

Las películas poliméricas se definen como material delgado con espesor de 200 µm, se pueden elaborar de diferentes materiales con propiedades únicas que se pueden adaptar a muchas aplicaciones. Pueden estar coloreadas, transparentes, rugosas, lisas, opacas o semitransparentes (Drobny, 2020). Diferentes investigadores han desarrollado muchas películas con el fin de proteger, conservar y asegurar la calidad de los alimentos.

Entre las investigaciones se destaca el uso de antocianinas de diferentes fuentes como: cáscara de lichi, col lombarda, extracto de arándano y batata morada. Por otro lado, como fuentes de la matriz polimérica se emplearon alcohol polivinílico, gelatina, quitosano, poli(hidroxibutirato) carboximetilcelulosa, entre otras. Los resultados encontrados demuestran que la combinación de dos o más componentes brindara a la película propiedades fisicoquímicas, estructurales, mecánicas y de barrera mejoradas.

Recientemente Guo y col. (2023) mezclaron una matriz polimérica a base gelatina/quitosano/alcohol polivinílico (Gel/Qno/APV) y cáscara de lichi (CL) que es rica en antocianinas, en busca de películas activas o inteligentes. La película de Gel/Qno/APV/CL presenta mejoras en sus propiedades mecánicas y podría ser empleada como indicador del pH en la evaluación de frescura del pescado (H. Guo y col., 2023). Así mismo, Riahi y col. (2023) investigaron el desarrollo de películas para el envasado de camarones, a partir de gelatina/alcohol polivinílico (Gel/APV) con incorporación de estructuras organometálicas a base de cobre (Cu-MOF) y antocianina de col lombarda (ACL). Sus resultados muestran que la interacción de la antocianina y nanoestructuras MOF favorecen la conservación de la frescura del producto y ralentiza el deterioro del camarón (Riahi y col., 2023).

En estudios similares Ahuja y col. (2023) fabricaron películas luminiscentes a base de poli(hidroxibutirato) (PHB) y concentraciones variables de cromona (isómero de cumarina) (CR) (5, 10, 15, 20 y 25% en peso) mediante mezclado en fundido con solvente. Los resultados muestran aumento de las propiedades mecánicas, mejor capacidad de barrera contra vapor de agua y los rayos UV y estabilidad térmica. Finalmente, la película PHB/CR15 para envasado de pan mostró la inhibición completa del crecimiento microbiano garantizando la seguridad de los productos alimenticios genuinos (Ahuja y col., 2023).

En este mismo año Zidan y col. (2023) elaboraron películas de carboximetil quitosano (CMQ), carboximetil almidón (CMA) y semilla de dátil (SD), en busca de una acción antimicrobiana en el deterioro de las frutas en conserva. La evaluación demostró que los CMQ/CMA/SD-3 poseen efecto antimicrobiano frente a varios microorganismos probados, asegurando la frescura de frutas y verduras (Zidan y col., 2023). Zhao y col. (2023) elaboraron una especie coacervados de quitosano (CQ)/carboximetilcelulosa (CMC) con antocianina extraído del arándano. Los datos obtenidos demostraron una mejora a la resistencia a la tracción y estabilidad estructural. Los resultados demuestran que se puede emplear para monitorear en tiempo real la frescura de la carne de cerdo y las frutas (Zhao y col., 2023).

La implementación de nuevos métodos de elaboración de películas que cambian de color, fue incluida por Li y col. (2023), donde emplearon batata morada (BM) rica en antocianinas. Para esto la BM cruda se llevó a cocción por vapor, seguido se tostó y se pulverizó para incluirla directamente en películas de color cambiabile. Los resultados mostraron una mayor capacidad de barrera, estabilidad térmica, propiedades mecánicas, sensibilidad al pH/amoniaco y actividad antioxidante. (Li y col., 2023). Finalmente se concluye que la interacción de la ciencia de los alimentos y la tecnología de sensores inteligentes brindan alternativas ecológicas, precisas inteligentes y diversas para la industria alimentaria.

Nanocompuestos como empaques activos e inteligentes

Son compuestos multifásicos con al menos una fase en un rango de 1 a 100 nanómetros (nm), las cuales pueden ser nanofibras, nanopartículas, nanotubos, etc. La matriz (fase continua) y los materiales (fase dispersa) tienen efecto en las propiedades de estos nanocompuestos. La inclusión de estas nanopartículas, nanotubos, etc. Promueven una mejora en las propiedades y por consiguiente son más efectivas las aplicaciones previstas (Nesic y col., 2017)

Los nanocompuestos pueden contener matriz metálica, matriz cerámica o matriz polimérica. Estos últimos han despertado un interés especial para los investigadores, científicos e ingenieros de materiales, donde se adicionan como agente reforzante las nanopartículas (Mohd y col., 2022, Gurav y col., 2023). En la tabla 2 se presentan algunos estudios de nano rellenos y en ellos se observa las contribuciones que hacen al nanocompuesto.

Tabla 3. Nanocompuestos empleados en la conservación y protección de la calidad y seguridad de los alimentos.

Base del polímero	Nano relleno	Alimento	Contribuciones o aportes	Referencia
Extracto de Brassica, puntos de Carbono	Nanofibras de celulosa	Carne de cerdo, pescado y camarones	La película mostró aumentos en la absorción de rayos UV, en propiedades fisicoquímicas, actividad antimicrobiana y antioxidante, además, puede indicar cambios de calidad y prolongar la vida útil de los alimentos.	Wagh y col., 2023
Microcápsulas de TEMPO, cinamaldehído y DMAEMA	Nanocelulosa	Carne de cerdo	Alta tasa de inhibición y así aumenta los días de almacenamiento a temperatura ambiente.	Wu. M. y col., 2023

Quitosano y antocianinas de berenjena.	Nanofibras de quitina	Carne de cerdo	Las propiedades mecánicas, estabilidad térmica, barrera al oxígeno y vapor de agua aumentaron de manera significativa. Al igual que su capacidad antioxidativa.	Wang y col., 2023
Pululano/quitosano, niacina y antocianinas de col lombarda.	Nanofibras de quitina	Pez Lubina	Las propiedades antioxidantes, antimicrobianas, mecánicas, estabilidad térmica y la barrera al vapor de agua mejoraron, además la película permite controlar la frescura de lubina.	Wu, C. y col., 2022
Curcunina y antocianinas	Nanofibras de pululano/quitosano	Pescado	La capacidad antimicrobiana, antioxidativa y su sensibilidad al pH fueron más fuertes.	Duan y col., 2021

Perspectivas a futuro de los empaques

La tendencia por el desarrollo de empaques inteligentes y activos pueden contribuir al desarrollo de la industria alimentaria, manteniendo la calidad del producto y ofreciendo seguridad al consumidor, por lo cual, se ha venido investigando la aplicación de polímeros naturales como los polisacáridos y sus derivados en envases activos e inteligentes, ya que se degrada fácilmente en comparación con los plásticos convencionales, lo que tiene un impacto positivo en el medio ambiente. Así, los envases activos e inteligentes pueden contribuir a 17 objetivos de desarrollo sostenible para el año 2030. Dirpan y col. (2023) en su revisión encontraron una tasa de crecimiento exponencial de $0,20 \text{ años}^{-1}$ en documentos entre 1997 y 2022, lo cual relaciona la evolución de las investigaciones y desarrollos de los empaques activos e inteligentes. Estos resultados demostraron que los pigmentos naturales, los compuestos bioactivos y las aplicaciones biodegradables en envases de alimentos son muy prometedores para su aplicación en envases de alimentos.

Por lo anterior, las tendencias a futuro se centran en el desarrollo de envases inteligentes sensibles al pH a base de antocianinas, tecnología relevante para ayudar a monitorear la calidad y seguridad de los alimentos logrando un amplio desarrollo en el mercado, otra tecnología es el uso de extractos de plantas, se ha demostrado que los extractos de plantas tienen cierto impacto en las propiedades de la película del biopolímero a través de interacciones con los grupos activos, como el aumento del espesor, cambio del color original y reducción de la transparencia de

las películas reveladas. Además, los estudios han revelado diversos efectos en las propiedades mecánicas (resistencia a la tracción y alargamiento de rotura) y de barrera (permeabilidad al vapor de agua) de películas con la adición de extractos naturales (Zhao y col. 2022. Kola & Carvalho. 2023)

Conclusiones

Las nuevas tecnologías a partir de recursos renovables y biodegradables se basan en la elaboración de bolsas, películas, recipientes de espuma y rígidos etc. Estas incorporan al envase la capacidad de actuar como agentes antimicrobianos, indicadores de oxígeno, de CO₂, de tiempo de temperatura, de frescura y de pH, todo esto en busca de proteger la calidad del alimento.

La innovación del envase también tiene potencial en el reemplazo de los polímeros sintéticos, dado que, la interacción de uno o más componentes renovables pueden tener propiedades mecánicas, térmicas, antioxidantes y de bloqueo a rayos UV similares a los sintéticos.

Finalmente se comprueba que los envases activos e inteligentes contribuyen de manera positiva y prometedora en el cuidado del medio ambiente. Esto sin pasar por alto la función de los empaques, ya que permiten conservar y/o mejorar la calidad y seguridad de los alimentos, además de lograr beneficios para los consumidores y la industria del envasado alimentario.

Agradecimiento.

Se agradece al Posgrado Maestría en Ciencia y Tecnología de Materiales de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila, a sus docentes y asesores externos por sus aportes para llevar a cabo esta revisión bibliográfica.

Referencias bibliográficas

- Abedi-Firoozjah, R., Parandi, E., Heydari, M., Kolahehdouz-Nasiri, A., Bahraminejad, M., Mohammadi, R., Rouhi, M., & Garavand, F. (2023). Betalains as promising natural colorants in smart/active food packaging. In *Food Chemistry*. 424:1-22. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136408>
- Ahuja, S., Bains, O., Mittal, M., Kamal, R., Aggarwal, N. K., & Arora, S. (2023). Multifunctional chromone-incorporated poly(hydroxybutyrate) luminescent film for active and intelligent food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125625. 246:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125625>

Amin, U., Khan, M. K. I., Maan, A. A., Nazir, A., Riaz, S., Khan, M. U., Sultan, M., Muneekata, P. E. S., & Lorenzo, J. M. (2022). Biodegradable active, intelligent, and smart packaging materials for food applications. *In Food Packaging and Shelf Life*. 33:1-13. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100903>

De Luca, R., (2022). Hacer frente a la pérdida y el desperdicio de alimentos: una oportunidad de ganar por partida triple. En Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/newsroom/detail/FAO-UNEP-agriculture-environment-food-loss-waste-day-2022/es>. Fecha de consulta: 29 de Septiembre de 2023.

Dharini, V., Periyar Selvam, S., Jayaramudu, J., & Sadiku Emmanuel, R. (2022). Functional properties of clay nanofillers used in the biopolymer-based composite films for active food packaging applications - Review. *In Applied Clay Science* 226:1-14. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2022.106555>

Dirpan, A., Ainani, A. F., & Djalal, M. (2023). A bibliometrics visualization analysis of active packaging system for food packaging. *In Heliyon* 9(8):1-17. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18457>

Drobny, J. G. (2020). Applications of Fluoropolymer Films. In W. Andrew (Ed.), *In Plastics Design Library* (pp: 3–38). William Andrew. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816128-9.00001-5>

Du, H., Sun, X., Chong, X., Yang, M., Zhu, Z., & Wen, Y. (2023). A review on smart active packaging systems for food preservation: Applications and future trends. *In Trends in Food Science and Technology* 141:1-15. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104200>

Freepikcompany L.S. (2023a). Carne de cerdo cruda cortes frescos de carne rodajas de bistec delicioso refrigerio fresco comida saludable. En freepik. [En línea]. Disponible en: https://www.freepik.es/fotos-premium/carne-cerdo-cruda-cortes-frescos-carne-rodajas-bistec-delicioso-refrigerio-fresco-comida-saludable-refrigerio-dieta_34912753.htm. Fecha de consulta: 29 de septiembre de 2023.

Freepikcompany L.S. (2023b). Plato de pollo fresco de diferentes partes de pollos muslos piernas alas surtido de carne cruda comida fresca de granja. En freepik. [En línea]. Disponible en: https://www.freepik.es/fotos-premium/plato-pollo-fresco-diferentes-partes-pollos-muslos-piernas-alas-surtido-carne-cruda-comida-fresca-granja_24307623.htm. Fecha de consulta: 29 de septiembre de 2023.

García, G., (2023). Envases inteligentes y activos en la industria de alimentos y bebidas. En *The food tech*. [En línea]. Disponible en:

<https://thefoodtech.com/insumos-para-empaque/envases-inteligentes-y-activos-en-la-industria-de-alimentos-y-bebidas/>. Fecha de consulta: 29 de septiembre de 2023.

Guo, H., Shao, C., Ma, Y., Zhang, Y., & Lu, P. (2023). Development of active and intelligent pH food packaging composite films incorporated with litchi shell extract as an indicator. *International Journal of Biological Macromolecules*, 226: 77–89. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.11.325>

Guo, Q., Yuan, Y., He, M., Zhang, X., Li, L., Zhang, Y., & Li, B. (2023). Development of a multifunctional food packaging for meat products by incorporating carboxylated cellulose nanocrystal and beetroot extract into sodium alginate films. *Food Chemistry*, 415:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135799>

Gurav, S., Nadaf, S., Jena, G K., & Gurav, N., (2023). Nanotechnology based delivery of nutraceuticals. Inamuddin, T. Altalhi and J N. Cruz (Eds). *Nutraceuticals*, (pp: 1-34). Academic Press

Jayasekara, S., Dissanayake, L., & Jayakody, L. N. (2022). Opportunities in the microbial valorization of sugar industrial organic waste to biodegradable smart food packaging materials. *International Journal of Food Microbiology*, 377:1-17. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109785>

Kola, V., & Carvalho, I. S. (2023). Plant extracts as additives in biodegradable films and coatings in active food packaging. In *Food Bioscience*. 54:1-11. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102860>

Li, C., Sun, J., Yun, D., Wang, Z., Tang, C., & Liu, J. (2023). A new method to prepare color-changeable smart packaging films based on the cooked purple sweet potato. *Food Hydrocolloids*, 137:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108397>

Martínez B, E., (2023). Frutas y verduras que te dan energía por la mañana. En *mejorconsalud/as*. [En línea]. Disponible en: <https://mejorconsalud.as.com/frutas-y-verduras-que-te-dan-energia-por-la-manana/>. Fecha de consulta: 29 de septiembre de 2023.

Mohd, J., Abdul, F., Adnan, R., & Hussin, H., (2022). Layered double hydroxides (LDHs) as green nanofillers in composites. T. Altalhi and Inamuddin (Eds). *Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science*, (pp: 23-42). Elsevier

Muñoz B, M., (2011). Envasado activo e inteligente de la carne. En *ciencia y campo*. [En línea]. Disponible en: <https://cienciaycampo.wordpress.com/2011/02/06/envasado-activo-e-inteligente-de-la-carne/>. Fecha de consulta: 29 de septiembre de 2023.

Nesic, A., & Seslija, S., (2017). The influence of nanofillers on physical–chemical properties of polysaccharide-based film intended for food packaging. A M. Grumezescu (Eds). Food Packaging, (pp: 637-697). Academic Press.

Nguyen, C. J., French, B. F., Maudrie, T. L., Ferguson, G. L., Blue Bird Jernigan, V., & Sinclair, K. A. (2023). Measuring Food Security among American Indian and Alaska Native Adults: Validity Evidence Supports the Use of the US Department of Agriculture Module. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 123(10): 76–88. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2023.02.017>

Priyanka, S., S, K. R. N., Arvind, A. B., & John, A. (2023). Biocompatible green technology principles for the fabrication of food packaging material with noteworthy mechanical and antimicrobial properties– A sustainable developmental goal towards the effective, safe food preservation strategy. *Chemosphere*, 336:1-14. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139240>

R, R., Philip, E., Madhavan, A., Sindhu, R., Pugazhendhi, A., Binod, P., Sirohi, R., Awasthi, M. K., Tarafdar, A., & Pandey, A. (2021). Advanced biomaterials for sustainable applications in the food industry: Updates and challenges. *Environmental Pollution*, 283: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117071>

Rahardiyana, D., Moko, E. M., Tan, J. S., & Lee, C. K. (2023). Thermoplastic starch (TPS) bioplastic, the green solution for single-use petroleum plastic food packaging – A review. In *Enzyme and Microbial Technology*. 168: 1-11. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2023.110260>

Requier, F., Pérez-Méndez, N., Andersson, G. K. S., Blareau, E., Merle, I., & Garibaldi, L. A. (2023). Bee and non-bee pollinator importance for local food security. In *Trends in Ecology and Evolution* 38(2): 196–205. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.10.006>

Riahi, Z., Khan, A., Rhim, J. W., Shin, G. H., & Kim, J. T. (2023). Gelatin/poly(vinyl alcohol)-based dual functional composite films integrated with metal-organic frameworks and anthocyanin for active and intelligent food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 249: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126040>

Senthilkannan Subramanian, M. (2021). Environmental footprints and Eco-design of Products and Processes. *Sustainable Packaging*. 1: 1-329 Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-4609-6>

Seralexvi (2023). Colección de frutas frescas saludables y hortalizas fondos. En 123RF. [En línea]. Disponible en:

https://es.123rf.com/photo_36587012_colecci%C3%B3n-de-frutas-frescas-saludables-y-hortalizas-fondos.html. Fecha de consulta: 29 de septiembre de 2023.

Shih, Y. T., & Zhao, Y. (2021). Development, characterization and validation of starch based biocomposite films reinforced by cellulose nanofiber as edible muffin liner. *Food Packaging and Shelf Life*, 28: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100655>

Sobhan, A., Muthukumarappan, K., Wei, L., Van Den Top, T., & Zhou, R. (2020). Development of an activated carbon-based nanocomposite film with antibacterial property for smart food packaging. *Materials Today Communications*, 23: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101124>

Sorokowski, P., Sorokowska, A., Misiak, M., & Craig Roberts, S. (2023). Developmental changes in food and non-food odor importance – Data from Scotland and Pakistan. *Food Quality and Preference*, 111: 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.104963>

The circular campus., (2022). Envases inteligentes para alimentos: así serán los envases del futuro inmediato. En The circular campus. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecoembesthecircularcampus.com/envases-inteligentes-para-alimentos-asi-seran-los-envases-del-futuro-inmediato/>. Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2023.

Thomas, B., Melethil, K. (2023). Biopolymers. In: Thomas, S., AR, A., Jose Chirayil, C., Thomas, B. (eds) Handbook of Biopolymers. 1: 1-153. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0710-4_1

Torry, H. (2023). Desmintiendo mitos del pescado fresco frente al congelado. En Torry Harris. [En línea]. Disponible en: <https://www.torryharris.es/beneficios-pescado-congelado/>. Fecha de consulta: 29 de septiembre de 2023.

Ulloa, P., Silva, E., Defilippi, B., (2020). Envases activos e inteligentes: una alternativa viable y efectiva para controlar pudriciones. En mundoagro. [En línea]. Disponible en: <https://mundoagro.cl/envases-activos-e-inteligentes-una-alternativa-viable-y-efectiva-para-controlar-pudriciones/>. Fecha de consulta: 29 de septiembre de 2023.

Verma, N., Satya Eswari, J., & Mahapatra, C. (2023). Green sustainable biocomposites: Substitute to plastics with innovative fungal mycelium-based biomaterial. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110396>

Yin, W., Qiu, C., Ji, H., Li, X., Sang, S., McClements, D. J., Jiao, A., Wang, J., & Jin, Z. (2023). Recent advances in biomolecule-based films and coatings for active and

smart food packaging applications. In *Food Bioscience*. 52: 1-12. Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102378>

Zhao, L., Liu, Y., Zhao, L., & Wang, Y. (2022). Anthocyanin-based pH-sensitive smart packaging films for monitoring food freshness. In *Journal of Agriculture and Food Research*, 9: 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100340>

Zhao, Y., Li, C., Xia, X., Tan, M., Wang, H., Lv, Y., Cheng, Y., Tao, Y., Lu, J., Li, D., & Du, J. (2023). Eco-friendly and intelligent cellulosic fibers-based packaging system for real-time visual detection of food freshness. *Chemical Engineering Journal*. 474: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.146013>

Zidan, N., albalawi, M. A., Alalawy, A. I., Al-Duais, M. A., Alzahrani, S., Kasem, M., Tayel, A. A., & Nagib, R. M. (2023). Active and smart antimicrobial food packaging film composed of date palm kernels extract loaded carboxymethyl chitosan and carboxymethyl starch composite for prohibiting foodborne pathogens during fruits preservation. *European Polymer Journal*, 197: 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2023.112353>