

Empaques inteligentes: definiciones, tipologías y aplicaciones

Smart packaging: definitions, types, and applications

Catherine Caicedo-Perea¹
Miguel Solís-Molina²
Henry Jiménez-Rosero³

¹ Servicio Nacional de Aprendizaje SENA (Colombia). Correo electrónico: catcaicedo@sena.edu.co
orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4235-4133>

² Servicio Nacional de Aprendizaje SENA (Colombia). Correo electrónico: masolis@sena.edu.co
orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7048-3376>

³ Servicio Nacional de Aprendizaje SENA (Colombia). Correo electrónico: hjimenezr@sena.edu.co
orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6996-0067>

Recibido: 22-09-2021 Aceptado: 04-03-2022

Cómo citar: Caicedo-Perea, Catherine; Solís-Molina, Miguel; Jiménez-Rosero, Henry (2022). Empaques inteligentes: definiciones, tipologías y aplicaciones. *Informador Técnico*, 86(2), 220-253.
<https://doi.org/10.23850/22565035.3985>

Resumen

Los empaques se han convertido en un campo amplio de desarrollo de diferentes tecnologías que evolucionan hacia posibilidades que los fabricantes utilizan para posicionarse en un mercado cada vez más exigente. La demanda por empaques inteligentes está en aumento, porque integran características que ofrecen un valor agregado logístico, tanto al destinatario final como a la cadena de abastecimiento. No obstante, se requiere articular de forma sistemática la literatura, de modo que se evidencien las oportunidades que ofrecen los empaques inteligentes en términos de funcionalidades para las empresas con respecto a las frutas y vegetales que presentan el mayor porcentaje de desperdicio en la etapa de producción. En esta categoría, las frutas no climatéricas son de especial interés, ya que comienzan su proceso de deterioro desde el momento de la recolección y, por ello, lo que suceda en los procesos posteriores debe ser controlado y monitoreado para evitar el desperdicio. En el presente estudio se realiza una búsqueda de definiciones, tipologías y aplicaciones de empaques funcionales para alimentos frescos no procesados, registrando las tecnologías más desarrolladas para aquellos clasificados como activos e inteligentes. Se analizaron bases de datos como Scopus y ScienceDirect, y el motor de búsqueda de Google Académico, donde se identificaron cuatro campos relacionados con empaques inteligentes: preservación de la comida, cadena de suministro, electrónica impresa y biopolímeros. De esta forma, se espera promover alternativas de investigación y desarrollo de tecnologías para empaques inteligentes, y propuestas en diseño y fabricación acordes con las necesidades de la industria agrícola local.

Palabras clave: empaques inteligentes; empaques activos; etiquetas inteligentes; etiquetas RFID; frutas; verduras; tecnologías de empaque inteligente; fruta no climatérica.

Abstract

Packaging has become a broad field of development of different technologies that evolve, offering possibilities for manufacturers to position themselves in an increasingly demanding market. The demand for smart packaging offers an added value to the logistics in the supply chain and the final recipient. Nevertheless, a systematic literature review is required to evidence the opportunities that smart packaging provides such as functionalities regarding the case of fruits and vegetables that exhibit the greatest percentages of waste at the production

stage. In this category, non-climacteric fruits start to perish at the recollection stage, and thus, the processes that follow must be controlled and monitored to prevent and reduce waste. In the present study, a search is carried out for definitions, typologies, and applications of functional packaging for the fresh unprocessed food sector, identifying the most developed technologies for those classified as active and intelligent. Databases such as Scopus and Science Direct and the search engine of Google Scholar were consulted. Four main fields of study were identified: food preservation, supply chain, printed electronics, and biopolymers. Hence, it is expected to promote possibilities for the research and development of technologies for smart packaging, to contribute with proposals in the design and manufacturing fields according to the needs of the local agricultural industry.

Keywords: smart packaging; active packaging; smart tags; RFID tags; fruits; vegetables; smart packaging technologies; non-climacteric fruit.

1. Introducción

En la industria de alimentos se identifica una clara necesidad en el desarrollo de empaques inteligentes debido a que la calidad, seguridad e inocuidad de los productos se convierten en factores decisivos para el consumidor en el momento de comprar. Esto hace que este tipo de empaques sea en la actualidad una tendencia con doble vía de crecimiento. Por un lado, están los fabricantes que desarrollan nuevas formas de proteger sus productos, al sumar características a los empaques, y por otro lado, la demanda y las necesidades de los usuarios, quienes desean calidad, inocuidad e información confiable de lo que consumen.

En consecuencia, los empaques inteligentes que se especializan en el área de los alimentos tienen un gran impacto económico y ambiental. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Programa Mundial de Alimentos detectaron, en un primer informe de 2011, que el nivel de desperdicio en alimentos puede llegar a 1.300 millones de toneladas por año en el mundo, lo que se estima aproximadamente como la tercera parte de los alimentos que se producen o procesan para el consumo mundial por año (Grupo de Alto nivel de Expertos en Seguridad Alimentaria y Nutrición, 2014). Sin embargo, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2019) y la Organización Mundial de las Naciones Unidas desde el programa para el medio ambiente (ONU) han realizado nuevos estudios para actualizar las cifras de los alimentos que se desperdician durante el proceso productivo y la cadena de suministro, sin incluir a los comerciantes de venta al por menor. Estos nuevos resultados, analizados por la FAO para calcular el índice de pérdida de alimentos, revelan que aproximadamente el 14 % de los alimentos en el mundo se pierde desde la producción y antes de llegar al comercio al por menor (FAO, 2019).

Al respecto, en la búsqueda de sistemas alimenticios sostenibles, se ha evidenciado que la mayoría de los desperdicios en los rellenos sanitarios corresponden a alimentos, los cuales liberan metano que es 25 veces más dañino para el ambiente que el CO₂ (Grupo de Alto nivel de Expertos en Seguridad Alimentaria y Nutrición, 2014). Desde entonces, la percepción global de este problema ha tomado importancia, y como parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), las Naciones Unidas se ha propuesto disminuir el 50 % del desperdicio mundial de alimentos a nivel minorista y de consumo, lo que incluye la pérdida de alimentos postcosecha para 2030 (Chen; Brahma; Mackay; Cao; Aliakbarian, 2020). A esto se suma el control en seguridad alimentaria, donde se requiere de vigilancia y control en la cadena logística para conocer la calidad de los alimentos en el momento que son transportados desde el fabricante hasta los consumidores finales.

La demanda por disminuir el desperdicio de alimentos y mantener una calidad óptima implica un desarrollo de materiales que compitan con las exigencias ambientales actuales. El aumento en el uso de polímeros para la fabricación de empaques de alimentos se debe a las ventajas que ofrecen, como la resistencia, la rigidez, y la barrera al oxígeno y a la humedad. El mercado mundial ha incrementado el uso de polímeros de 5 millones de toneladas en los años 1950 a casi 100 millones de toneladas en la actualidad, de los cuales el 42 %

está representado por envases (Silvestre; Duraccio; Cimmino, 2011). Existen factores negativos en el consumo de plásticos, como el uso de combustibles fósiles (más del 99 % de los plásticos provienen de combustibles fósiles), la contaminación ambiental, el agotamiento de los vertederos (alta relación volumen/peso) y el uso significativo de energía en la fabricación de polímeros, que minimizan el impacto favorable en la disminución de la pérdida de alimentos (Mahalik; Nambiar, 2010).

En este tipo de análisis, es necesario conocer la proporción entre la cantidad de contaminación ocasionada y las ganancias (también ambientales) por prevenir una pérdida excesiva de los alimentos (Dow Plásticos, 2013). Mientras surgen alternativas de empaque con otros materiales como vidrio, aluminio y cartón, la industria de los empaques plásticos se ve retada a innovar para responder a grandes problemáticas ambientales como lo son los productos de un solo uso o “commodities” que generan una gran cantidad de desechos posconsumo (Posada; Montes-Flórez, 2021). El uso de la nanotecnología en el desarrollo de materiales poliméricos para el envasado de alimentos proporciona ventajas de seguridad, económicas y medioambientales, como la reducción a cero de cualquier interacción con el alimento, disminución del consumo de energía, insumos, transporte y almacenamiento, como también la reducción del volumen del material desechado (Silvestre *et al.*, 2011).

Además, la industria de alimentos requiere de la creación de empaques activos y/o inteligentes para dar respuesta al desarrollo económico y a las posibilidades de exportación de este tipo de bienes de rápido consumo. Los empaques inteligentes ofrecen funciones de captura de información, que permiten medir las condiciones básicas para mantener la calidad de los alimentos. Estas funciones se logran incorporando sensores de temperatura, que informan mediante indicadores visuales si el producto ha conservado las condiciones mínimas exigidas en el proceso de transporte, y continúan siendo aptos para el consumo humano (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014). Si bien, la mayoría de los productos alimenticios necesitan de un empaque activo o inteligente para ofrecer esta garantía a los usuarios finales, hay una gran diferencia entre ellos. Para comprender sus discrepancias, en esta investigación se describen las diferentes definiciones y aplicaciones de cada uno.

Con el actual interés en el desarrollo de empaques inteligentes que favorezcan el sector productivo de alimentos, instituciones educativas de la región del Valle del Cauca en Colombia adelantan proyectos relacionados con desarrollo de empaques para la fruta mora (*Rubus glaucus*), con el fin de ampliar el tiempo de vida útil y realizar monitoreo en la calidad del alimento después de la postcosecha. No obstante, en un país como Colombia, donde la mora se produce en forma artesanal por pequeños y medianos agricultores, estos desarrollos son de gran importancia por las posibilidades en el mercado nacional e internacional. En el año 2011, la mora alcanzó una extensión de cultivos de 11.673 ha, con una producción de 94.303 toneladas. Para el 2020, se proyecta haber alcanzado las 99.000 ha para una producción de 104.265 toneladas (Escandón, 2017).

La presente revisión pretende visualizar posibilidades de desarrollo e integración de tecnologías para empaques inteligentes, que se valga de las fortalezas e infraestructura de instituciones educativas interesadas, a partir de una clara comprensión de las funcionalidades, que sirva de partida para abordar diferentes alternativas en el diseño y desarrollo de productos (Solís-Molina; Barahona-Hernández; Mora-Londoño; Chamorro; Quiñones, 2018). Es necesario, también, conocer las tipologías de empaques inteligentes para identificar las tecnologías y sectores de conocimiento más relevantes en el desarrollo de los mismos, según los productos prioritarios a empacar, que en este caso se enfocan en la mora, perteneciente a la categoría de frutas no climatéricas, las cuales son sensibles porque se recolectan maduras, y desde ese momento comienza un proceso de deterioro. Las frutas climatéricas, en cambio, siguen madurando después de la recolección, y dan más tiempo para el transporte. Por esta razón no son prioridad en las búsquedas.

2. Metodología

Se revisaron investigaciones publicadas entre los años 1994 a 2021, sobre empaques activos e inteligentes con aplicaciones para la industria de alimentos, con el objetivo de conocer definiciones y tecnologías.

2.1. Exploración por palabras clave

En una primera etapa, se realizó una búsqueda de artículos entre los años 2013-2016, para identificar definiciones en torno a empaques activos e inteligentes. Como fuente de información inicial, se utilizó Google, para recurrir a diccionarios, revistas, presentaciones, tesis de grado de países hispanos e informes de páginas web institucionales, donde se consultaron cerca de tres (3) documentos oficiales no indexados, útiles para esta primera etapa exploratoria. Las citas en esta primera de indagación obedecen a búsquedas en documentos no indexados, que aportaron referencias de fuentes que correspondían a artículos indexados.

En una segunda etapa, las búsquedas se realizaron por medio de Google Académico, y se orientaron a la identificación de artículos sobre empaques inteligentes (se descartaron los empaques activos). La ecuación de búsqueda utilizada fue “*smart packaging*”, con 7.400 resultados ordenados por relevancia. Se seleccionaron los artículos con más de 100 citas, y se obtuvieron cuatro documentos. Se analizaron tres (3) documentos (dos artículos de revisión con 270 y 160 citas, y un libro con 171 citas) por estar directamente relacionados con sensores para alimentos frescos, como frutas y vegetales. Se descartó el documento que incluía sistemas de empaque activo, pues estas definiciones ya se habían relacionado en la primera etapa.

La tercera etapa se hizo teniendo en cuenta las instituciones educativas de la región que han trabajado en proyectos que diseñan sistemas de empaques activos e inteligentes para la mora (*Rubus glaucus*). Se realizó una búsqueda con las palabras “*smart packaging*” and “*fruits*”, con 1380 resultados entre los años 2016-2021. De esta búsqueda, se seleccionaron dos (2) artículos que hacen énfasis en las tipologías y aplicaciones de empaques inteligentes para alimentos como frutas y vegetales. Se descartaron artículos enfocados a empaques activos, sistemas de envasado activo, o aquellos dedicados a un solo tipo de sensor o un solo alimento, puesto que en esta etapa se pretendía conocer de manera más amplia la aplicabilidad de empaques inteligentes en productos alimenticios de poco procesamiento, como las frutas.

La cuarta etapa se realizó teniendo en cuenta que la mora es una fruta no climatérica, y se utilizaron las palabras *smart packaging for nonclimacteric fruit* (sin comillas), las cuales arrojaron 155 resultados entre los años 2016 y 2020 en Google Académico. En esta última búsqueda, se seleccionaron cuatro (4) artículos, y se descartaron los dedicados a tecnologías de envasado y empaquetado activo, como empaques especializados en frutas climatéricas (e. g., manzanas y peras, entre otras). Con esta misma ecuación e intervalo de tiempo, se realiza una búsqueda en ScienceDirect, la cual arrojó 8 resultados, de los cuales se selecciona un (1) libro y se excluyen artículos relacionados con maquinaria agrícola, empaques activos y de atmósfera modificada. Por otro lado, se crearon alertas con las palabras clave “*smart packaging*”, que aportaron dos (2) artículos con las palabras clave “*smart packaging*” e “*intelligent packaging*” and “*concepts and applications*”.

2.2. Búsqueda y análisis en Scopus

Una quinta etapa de búsqueda se realizó utilizando Scopus con la ecuación “*smart packaging*”, donde se obtuvieron 596 resultados de documentos publicados entre los años 1994 y 2021. Se seleccionaron diez (10) artículos, teniendo en cuenta a los autores más citados y los artículos más recientes. Se descartaron artículos que se enfocaban en áreas de química, materiales biodegradables, empaques activos y con aplicaciones muy

específicas, como carnes o pescados, y se conservó un enfoque en dispositivos inteligentes para frutas. En la Figura 1, se observa una tendencia creciente de publicación de artículos desde el año 2017 hasta la actualidad.



Figura 1. Documentos publicados sobre smart packaging por año en el período 1994-2021
Fuente: elaboración propia, basada en búsqueda en "smart packaging" Scopus (2021).

Para esta última selección de artículos, se revisaron los autores más representativos. En la Figura 2, se mencionan 17 autores con un mínimo de 4 documentos publicados entre los años 1994 y 2021.

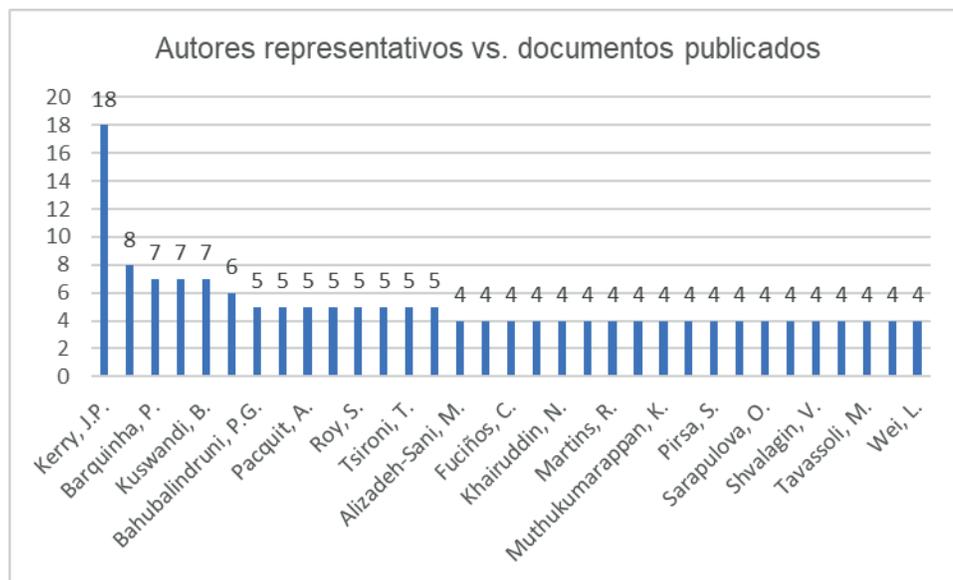


Figura 2. Autores más representativos según número de publicaciones 1994-2021
Fuente: elaboración propia, basada en búsqueda en "smart packaging" Scopus (2021).

La Figura 3 muestra las áreas de conocimiento según la cantidad de documentos registrados. En primer lugar, están las ingenierías con un 22 %, seguidas de la ciencia de los materiales con 15 %, y las ciencias biológicas y de la agricultura con un 12 % (Scopus, 2021).

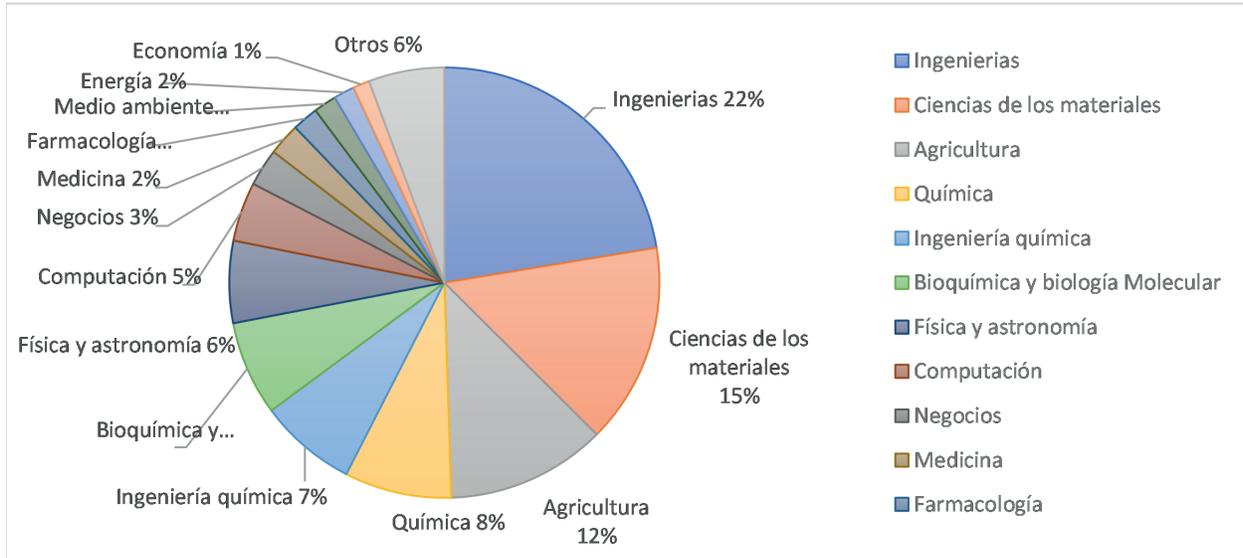


Figura 3. Áreas de conocimiento más documentadas 1994-2021
Fuente: elaboración propia, basada en búsqueda en Scopus (2021).

En la Figura 4 se observan los 15 países con más documentos publicados, liderados por Estados Unidos, China e India (Scopus, 2021).

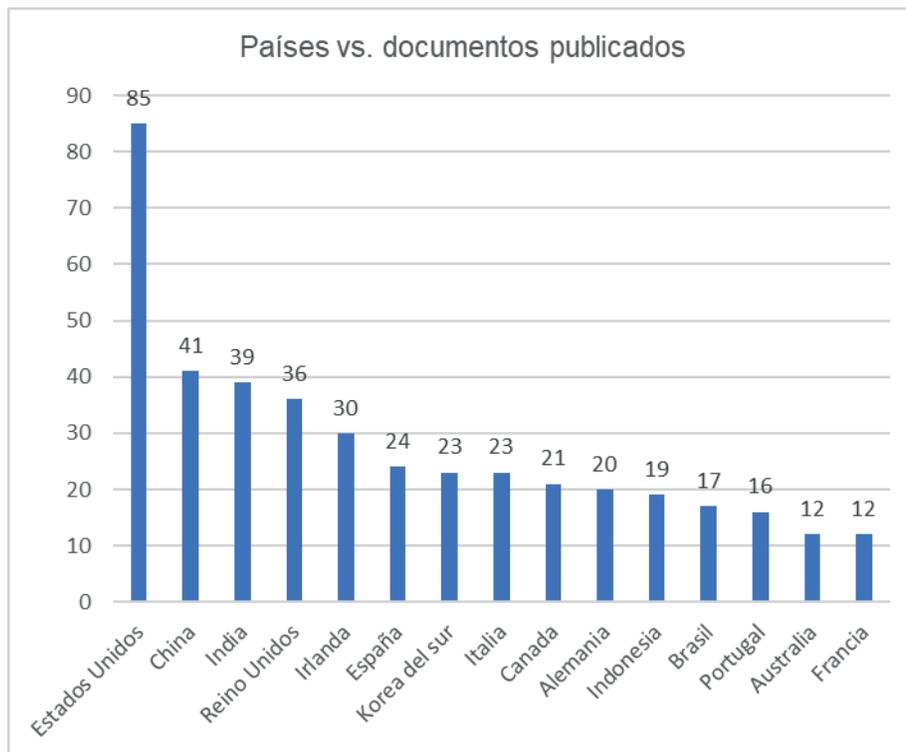


Figura 4. Países con mayor número de publicaciones por año 1994-2021
Fuente: elaboración propia, basada en búsqueda en "smart packaging" Scopus (2021).

En total, se seleccionaron 49 documentos. 15 de ellos encontrados por la plataforma Google con las ecuaciones de búsqueda mencionadas. Otros 13 artículos fueron hallados por citas dentro de estos primeros 15 artículos, al consultar directamente las fuentes por título, año y autor en el buscador Google Académico. 10 documentos corresponden a normas y resoluciones. Los últimos 11 artículos se seleccionaron desde la plataforma Scopus (10) y ScienceDirect (1), teniendo en cuenta los autores más citados y los artículos más nuevos. Un compendio de 71 referencias bibliográficas conforma esta revisión. Bases de datos como Web of Science (WoS) y otras más especializadas, pueden ser utilizadas en búsquedas futuras, que integren estudios de materiales poliméricos como sustrato de empaques inteligentes.

3. Definiciones de empaques activos e inteligentes

3.1. Definiciones básicas de empaques

Procolombia (2016), en el Manual de empaque y embalaje para exportación, clasifica y define el empaque o envase como un contenedor que conserve, transporte y venda productos y/o mercancías. Además, los clasifica por las funciones que preste, como envase primario, envase secundario o empaque, envase terciario o embalaje y unidad de carga.

Envase o empaque primario es el recipiente que está en contacto directo con el producto. Es la unidad primaria de protección. Sus funciones son proteger, contener, identificar el producto, y ser adecuado a las necesidades del consumidor en términos de tamaño, ergonomía, calidad y seguridad, entre otros. Envase o empaque secundario es el que contiene al envase primario, otorgándole protección o exhibición adicional. Está en contacto directo con el envase primario. Envase terciario o embalaje es el que unifica, protege y distribuye el producto a lo largo de la cadena logística. Debe resistir las operaciones de almacenamiento, transporte y distribución, y evitar daños en la manipulación durante la travesía desde el centro de fabricación del producto, hasta el consumidor final.

La unidad de carga es una agrupación de embalajes, pueden contener los envases secundarios, los envases primarios y el producto. Es una sola carga compacta de mayor tamaño, manejada para reducir superficies de almacenamiento, facilitar la manipulación de la mercancía y favorecer las operaciones logísticas (Procolombia, 2016).

3.2. Empaques inteligentes

El empaque inteligente se define como un sistema que puede, además de aumentar la vida útil del producto, detectar y brindar información sobre la calidad o deterioro del alimento, incluso el historial de transporte y almacenamiento en tiempo real, utilizando tecnologías diversas como códigos de barras y etiquetas de identificación por radiofrecuencia (RFID) (Kalpana; Priyadarshini; Maria-Leena; Moses; Anandharamkrishnan, 2019). En general, un empaque inteligente reúne cinco funciones: monitoreo, detección, registro, seguimiento y comunicación (Kalpana *et al.*, 2019).

Otra definición coincide en un sistema que monitorea las condiciones del producto envasado, y es capaz de registrar y aportar información sobre la calidad y el estado del producto, además de poner en evidencia las posibles prácticas “anormales” que haya sufrido el alimento o el envase durante la cadena de suministro (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014). También está encaminado a facilitar la trazabilidad, evitar la falsificación, involucrar a los consumidores, empalmar con el comercio móvil, aportar al internet de las cosas, y ocuparse del suministro y la gestión de inventarios (Manly, 2016). Otros autores clasifican los empaques inteligentes como aquellos que utilizan propiedades, componentes del alimento o de algún material del envase, como indicadores del historial y la calidad del producto (Ruiz, 2006).

Por su parte, las instituciones educativas que realizan búsquedas en torno al tema de empaques inteligentes, los definen como aquellos que cuentan con sistemas para el control y monitoreo, de pequeña escala (micro y nanotecnológica), incorporados con propósitos de localización y vigilancia de productos, medición de índices de variables relevantes como acidez, humedad, radiación, temperatura, presión, tiempo o presencia de químicos específicos, detección de microorganismos como virus, hongos o bacterias, prevención de adulteraciones, índice para señalar al usuario el vencimiento, o para la presentación pasiva o dinámica de publicidad (Narváez-Agudelo *et al.*, 2009).

3.3. **Empaques activos**

El empaque activo se define como un sistema donde el producto, el contenedor y el entorno interactúan de manera positiva, extendiendo la vida útil o mejorando algunas características del producto (Miltz; Mannheim, 1995). También se define como un empaque que transforma las condiciones para extender la vida útil o para mejorar la seguridad o las propiedades sensoriales, mientras se conserva la calidad de los alimentos envasados (Ahvenainen, 2003).

Los fabricantes de empaques activos tienen como objetivo principal disminuir el desperdicio, teniendo en cuenta que la inocuidad debe prevalecer. Es común encontrar alternativas con cualidades antimicrobianas, absorción de grasas, control de temperatura y monitoreo del estado del producto, que buscan extender su vida útil (Manly, 2016). También se denominan empaques activos, aquellos que cumplen alguna función adicional a la de proteger el contenido del ambiente externo (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014). Los empaques activos son un tipo de empaque que interactúa con el alimento. Esto ayuda a reducir o eliminar el uso de productos químicos directamente en el alimento, y prolonga su vida de anaquel. Este tipo de empaques incluye diferentes mecanismos de acción dependiendo de su uso: absorben oxígeno, etileno, humedad y dióxido de carbono, pueden contener agentes antimicrobianos, antioxidantes y sabores (Vermeiren, 1999).

Otras definiciones describen el empaque activo como un sistema donde ocurren fenómenos físico-químicos que neutralizan el efecto dañino de algún componente, como, por ejemplo, la concentración de oxígeno, humedad, dióxido de carbono, otros gases y microorganismos en la pared del empaque y/o en el interior de este. Estos sistemas monitorean las condiciones del producto y aseguran la calidad, seguridad e inocuidad del alimento (Contreras-Camacho, 2018). De acuerdo con la regulación de envasado de alimentos en Europa 1935/2004/EC y 450/2009/EC, los materiales y artículos activos están destinados a extender la vida útil, mantener o mejorar la condición de los alimentos envasados. Asimismo, están diseñados para incorporar deliberadamente componentes que liberan o absorben sustancias en el alimento envasado o el entorno que lo rodea (Ozdemir; Floros, 2004; Sivertsvik, 2007).

Las instituciones educativas definen a los empaques activos como aquellos en donde se realiza un control del contenido de aromas, gases o vapor de agua. Esta función se realiza mediante sistemas físicos como el vacío y la atmósfera modificada o mediante aditivos de carácter orgánico o inorgánico, que actúan como absorbentes, barreos, neutralizadores de microorganismos y desecantes, con el objetivo de extender sensiblemente la vida de anaquel del producto (Narváez-Agudelo *et al.*, 2009).

3.4. **Diferencias entre empaque activo e inteligente**

Según las definiciones encontradas, existen claras diferencias entre empaques activos e inteligentes. El empaque activo interactúa en el alimento y el entorno o ambos para mejorar aspectos de calidad o seguridad, mientras que el empaque inteligente debe tener la capacidad de registrar y suministrar información relativa al estado del envase y/o producto (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014). Los empaques inteligentes dependen de una tecnología que pueda comunicar desde el empaque mismo la calidad del producto, brindando seguridad a través de

funciones como detección, grabado, trazado y/o aplicación de lógica inteligente para suministrar información oportuna y exacta al usuario final.

Estos empaques son una parte de un sistema general de embalaje, donde la “inteligencia” se debe precisamente a estas funciones que captan y procesan la información desde el entorno, con la finalidad de transmitirla a todos los usuarios y consumidores que intervienen con este producto (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014). El empaque activo tiene aplicaciones solo para alimentos con el objetivo de mejorar y mantener la calidad e incluso prolongar su vida útil. Por el contrario, el empaque inteligente no afecta directamente al producto, sino que hace seguimiento del estado de los productos empacados e informa al usuario sobre los cambios que puedan surgir (Lydekaitye; Tambo, 2020). Es importante definir el problema que se quiere solucionar con el empaque para decidir qué tipo de tecnología incorporar, con el fin de potenciar las funciones de este, sobre todo cuando los costos de estas tecnologías pueden ser elevados, y encarecer el producto final.

3.5. Etiquetas inteligentes

Una opción intermedia en cuanto a costos son las etiquetas inteligentes. Con la aparición de los códigos QR a principios del siglo XXI, ha habido un rápido desarrollo de tecnologías en un período relativamente corto de tiempo. Dentro de esta definición se encuentran las etiquetas RFID (identificación por radiofrecuencia) y NFC (comunicación de campo cercano), empaques conectados a plataformas de nube asociadas, códigos QR incrustados, marcas de agua digitales, realidad aumentada (AR) y realidad virtual (VR). Identificar la aplicación ideal para construir un empaque inteligente en este campo es complejo, porque convergen diversas tecnologías cuyo costo debe ser analizado. Las etiquetas inteligentes son pegadas a los empaques, y brindan información de interés para los clientes sobre el estado del producto, y sus características nutricionales o de conservación. Un ejemplo es el caso de la carne, donde existen etiquetas que incorporan sensores que detectan los gases (sulfhídrico) emitidos mientras se descompone, haciendo visible estos cambios de estado mediante colores que indican el grado de degradación del alimento (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014).

4. Tipos de empaque según funcionalidad

En la Figura 7 se han clasificado los tipos de empaques según la función que realizan:



Figura 7. Clasificaciones de empaque según características
Fuente: elaboración propia, basada en Rodríguez-Sauceda *et al.* (2014).

Los empaques tradicionales tienen la función de proteger el producto contra los efectos negativos del ambiente externo. Además, sirven para comunicar al usuario sus características y ventajas. Las principales funciones de los empaques pasivos se pueden clasificar en protección, comunicación, conveniencia y contención. Sin embargo, estas funciones ya no son suficientes, y deben integrarse a un esquema nuevo de economía circular (Schaefer; Cheung, 2018).

A continuación, se describen las características principales para los empaques funcionales (activos e inteligentes), con especial énfasis en los empaques inteligentes, que son el grupo de mayor interés en la presente revisión.

4.1. **Empaques inteligentes**

Los empaques inteligentes utilizan mecanismos que detectan cualquier alteración del alimento para garantizar la seguridad y calidad por causa de procesos fisiológicos (e. g., respiración de frutas); químicos (e. g., oxidación de lípidos); biológicos (e. g., bacterias, mohos, levaduras y parásitos) que podrían estar relacionados con cambios de pH, actividad del agua, concentración de gases y cambios de temperatura. Las tecnologías inteligentes de seguimiento hacen un control de estos cambios para informar al consumidor sobre el estado del producto, mejorar la gestión de la cadena e incluso lograr un sistema antifraude eficaz. Por tal razón, se convierten en un valor agregado que beneficia a la industria y al usuario final.

4.1.1. **Indicadores**

Un indicador puede definirse como un material o sustancia que indica la presencia, ausencia o concentración de otra sustancia como marcador, o el grado de reacción entre dos o más sustancias mediante el cambio de propiedades como color, energía o masa (Kerry; Butler, 2008). Para lograr esta detección, seguimiento y control, existen diferentes tipos de indicadores o dispositivos que se integran a los envases para “convertirlos” en empaques inteligentes, algunos de los indicadores más comunes son: tiempo-temperatura, oxígeno y CO₂, pH o crecimiento microbiano, autenticidad (hologramas y DNA, entre otros), integridad, localización y trazabilidad (RFID) y patógenos (inmunológicos, *E. coli* O157 y toxinas).

Entre las principales funciones de estos indicadores se encuentran cuidar, controlar e informar sobre las condiciones en las que los productos fueron envasados y conservados. Otra función es reaccionar a las exigencias que el entorno mismo impone a los empaques, evidenciando información sobre el comportamiento de los productos contenidos en etapas posteriores al envasado. Por último, facilitar el consumo de los alimentos contenidos al usuario final.

Existen diversos tipos de sistemas inteligentes, pero los más comerciales son indicadores de tiempo y temperatura, indicadores de fuga (Leakindicators-LI), indicadores de frescura e indicadores de autenticidad del envase (Coma, 2006).

4.1.1.1. **Indicadores de temperatura**

Se definen como dispositivos pequeños, simples y económicos en forma de etiqueta adhesiva (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014). Sirven para monitorear el factor temperatura integrado con el tiempo, y evidenciar el efecto acumulativo desde que el alimento es almacenado hasta que es transportado (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014). El abuso de la temperatura durante la cadena de abastecimiento de los alimentos ocasiona disminución en la calidad nutricional, que puede dar lugar a intoxicaciones por la descomposición de estos. La dependencia entre tiempo-temperatura es medible, y correlaciona un cambio irreversible en el dispositivo ante una alteración en la calidad del producto alimenticio, que es sometido a un exceso de temperatura. Los indicadores de temperatura pueden monitorear la cadena de frío en el transporte, complementando la información de la vida útil del producto, como la fecha de caducidad (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014). Como requisito, deben depender del factor temperatura, son irreversibles y tienen un umbral de rechazo, es decir, un punto a partir del cual indique que el alimento debe ser desechado porque sus condiciones ya no son aptas para el consumo (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014). Los indicadores de tiempo y temperatura se basan en un cambio de color, que muestra la

disminución de la calidad de los alimentos. Sin embargo, existen otros indicadores de tiempo y temperatura que dan respuesta en forma visible, por deformación mecánica (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014). En la Tabla 1 se describen algunos dispositivos disponibles en el mercado: CTI, CTTI y TTI.

Tabla 1. Ejemplos de indicadores de temperatura y los usos comunes para categorías CTI, CTTI, TTI

Indicadores de temperatura más comunes		
Indicadores de temperatura crítica (CTI) dan respuesta solo si una temperatura de referencia a la cual fueron programados es sobrepasada en algún punto de la cadena de distribución.	Indicadores tiempo-temperatura crítica (CTTI) entregan una respuesta mediante un cambio de color, que refleja el efecto tiempo-temperatura acumulado sobre una temperatura crítica.	Los Indicadores o integrados tiempo-temperatura (TTI) miden tanto la temperatura como el tiempo, y los integran en un solo resultado visual.

Fuente: elaboración propia, basada en Rodríguez-Sauceda *et al.* (2014).

La Tabla 2 resume los usos más comunes para empaques inteligentes.

Tabla 2. Ejemplos de indicadores de temperatura y los usos más comunes

Tipo	Efecto	Usos
• Indicadores de tiempo y temperatura.	• Informa variaciones de temperatura.	• Como complemento de etiquetado en el almacenamiento o transporte.
• Indicadores de color.	• Informa sobre la temperatura en el envase del alimento.	• Alimentos para preparación en microondas.
• Indicadores de patógenos.	• Informa sobre el estado microbiológico del alimento.	• Carnes, pescado o aves de corral.
• Indicadores de fugas.	• Informa sobre fugas en el envase del alimento.	• Conservas de alimentos para bebés.

Fuente: elaboración propia, basada en Rodríguez-Sauceda *et al.* (2014).

4.1.1.2. Indicadores de fuga

Son indicadores que detectan escapes por cierres no herméticos en el empaque, muy convenientes en productos empacados al vacío. Los indicadores de oxígeno como los de dióxido de carbono utilizan pigmentos sensibles al gas que monitorean. En su mayoría son indicadores que, por un reacción química o enzimática o ante la presencia de oxígeno, cambian de color (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014).

4.1.1.3. Indicadores de frescura

Son un tipo de sensores que detectan la calidad de la fruta según el nivel de frescura, madurez o firmeza, utilizando sistemas que combinan sensores electrónicos, electroquímicos y electroópticos, como también indicadores que detectan metabolitos volátiles que se producen en el proceso de maduración (Alam; Rathi; Beshai; Sarabha; Deen, 2021). Los sensores se incluyen dentro del empaque para hacer un monitoreo constante, y son seleccionados según el tipo y fisiología de las frutas. Deben estar cerca de la fruta que se desea controlar para medir factores como la temperatura y el tiempo, en términos del impacto real que tiene la acumulación de estos dos factores en la cadena de suministro y en la vida útil del alimento. Algunas marcas comerciales de esta clase de indicadores son:

- **Indicador para carne SensorQ:** está diseñado especialmente para carne de res y aves de corral. Es un dispositivo sencillo que detecta gases y está articulado en un transductor que produce un cambio de color en la etiqueta conforme se produce el crecimiento bacteriano, que produce gases en el interior del envase, que son identificados por el indicador, de forma que la etiqueta no sea afectada por las atmósferas modificadas. Esta etiqueta cambia de naranja a verde oliva gradualmente, indicando cómo se produce la degradación del alimento.
- **Indicador para pescado Freshtag:** son etiquetas que tienen una pequeña perforación en la parte trasera, por donde pasan los vapores que se generan durante el almacenamiento del pescado y se transmiten por la matriz de la etiqueta, donde está el detector. Este tipo de indicador reacciona con la trimetilamina desprendida durante la descomposición del óxido de trimetilamina del pescado (causante del mal olor), provocando un cambio de color en la etiqueta, que se transforma de amarilla a azul oscuro, según se produzca la descomposición (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014).
- **Indicador para frutas RipeSense®:** son dispositivos desarrollados para fruta climatérica, que es la que continúa con el proceso de maduración después de ser recolectada. El dispositivo cambia de color como reacción a los compuestos aromáticos volátiles generados en la etapa de maduración de las frutas. La etiqueta cambia de color rojo a naranja, y finalmente a amarillo, informando que la fruta está totalmente madura. Estos dispositivos también son llamados indicadores de madurez, y se encuentran disponibles en el mercado especializado (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014).
- **Película plástica Toxin Guard:** es una película que detecta el crecimiento de bacterias *Pseudomonas*, las cuales son microorganismos no patógenos, pero alterantes, lo que hace que en la película aparezca una X, indicando al usuario que este producto se ha deteriorado, no tiene la frescura óptima y no debería ser consumido (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014).
- **Indicador Traceo:** es un tipo de etiqueta que se sobrepone en los códigos de barras para informar que el alimento no es apto para el consumo mediante un cambio de color en la etiqueta, que además se vuelve opaca. La tecnología está patentada, y utiliza microorganismos que simulan la descomposición real del alimento sobre el cual se adhiere. Cuando el código de barras toma color y se vuelve opaco, ya no se puede leer, indicando automáticamente que los alimentos no deben ser consumidos (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014).

En la Tabla 3 se muestran algunos sistemas de empaques inteligentes comercialmente disponibles.

Tabla 3. *Sistemas de empaques inteligentes disponibles comercialmente*

Sistemas de empaques inteligentes disponibles comercialmente		
Marca	Fabricante	Tipo
O2 Sense TM	Freshpoint Lab	Indicador de integridad
Novas®	Insignia Technologies Ltd.	Indicador de integridad
Ageless Eye®	Mitsubishi Gas Chemical Inc.	Indicador de integridad
Freshtag®	COX Technologies	Indicador de frescura
Sensorq®	DSM NVAnd Food Quality Sensor International	Indicador de frescura
Timestrip Complete®	Timestrip UK Ltd.	Tiempo temperatura
Timestrip®PLUS Duo	Timestrip UK Ltd.	Tiempo temperatura
Monitormarktm	3MTM, Minnesota	Indicador tiempo temperatura
Fresh-Check®	Temptime Corp	Indicador tiempo temperatura

Sistemas de empaques inteligentes disponibles comercialmente			
Marca	Fabricante		Tipo
Onvutm	Ciba Specialty Chemicals and Freshpoint		Indicador tiempo temperatura
Checkpoint®	Vitsab		Indicador tiempo temperatura
Cook-Chex	Pymah Corp		Indicador tiempo temperatura
Colour-Therm	Colour Therm		Indicador tiempo temperatura
Thermax	Thermographic Measurements Ltd.		Indicador tiempo temperatura
Timestrip®	Timestrip Ltd.		Indicadores de integridad
Novas®	Insignia Technologies Ltd.		Indicadores de integridad
Easy2log®	CAEN RFID Srl		RFID
Intelligent Box	Mondi Plc		RFID
Cs8304	Convergence Systems Ltd.		RFID
Temptrip	Temptrip LLC		RFID

Fuente: elaboración propia, basada en Biji, Ravishankar, Mohan y Srinivasa-Gopal (2015).

4.1.2. Sensores

Un sensor puede definirse como un dispositivo para detectar o cuantificar materia o energía, y dar una respuesta o señal para la determinación o medición de una característica química o física (Kress-Rogers, 1998; Kerry; Butler, 2008). Los sensores constan de dos elementos, un receptor y un transductor, que emiten señales de salida. Un término similar que también se usa en el empaqueo inteligente es indicador. Estos dos términos a menudo se usan indistintamente, pero el indicador se refiere principalmente a un sensor colorimétrico que puede ser un sensor químico o un biosensor.

4.1.2.1. Sensor químico

Es una membrana químicamente sensible que identifica la presencia, composición, actividad y concentración de un químico o gas objetivo a través de la adsorción y difusión de la superficie. El producto químico objetivo detectado luego se convierte en una señal medible por un transductor, pasivo o activo, dependiendo de la potencia eléctrica utilizada para la medición (Vanderroost; Ragaert; Devlieghere; de Meulenaer, 2014).

4.1.2.2. Biosensores

Los biosensores se definen como herramientas o dispositivos utilizados para detectar, determinar y transmitir información relacionada con reacciones biológicas. El bioreceptor detecta el analito objetivo, luego convierte las señales bioquímicas del transductor en la respuesta medible (Yam; Takhistov; Miltz, 2005). Los biosensores también contienen dos elementos funcionales principales, es decir, bioreceptores y transductores (Alocija; Radke, 2003). Los bioreceptores pueden ser materiales biológicos como enzimas, antígenos, ácidos nucleicos, hormonas, entre otros, u orgánicos, como microorganismos (Biji *et al.*, 2015).

4.1.2.3. Sensor de frescura

Se puede definir como un sensor o indicador dentro del paquete, que puede detectar la frescura de los alimentos relacionados con el ambiente dentro o fuera del empaque, e informar la calidad y la seguridad de los alimentos antes de ser consumidos (Kuswandi *et al.*, 2011).

Hay dos tipos de sensores de frescura que se han desarrollado recientemente. Los sensores directos funcionan con base en la detección directa de un analito particular, como marcador de frescura de alimentos. En este caso, se ha presentado una variedad de conceptos diferentes para los marcadores de frescura en la literatura sobre calidad e inocuidad de los alimentos (Kuswandi, 2017). Por otro lado, los sensores indirectos son dispositivos que imitan el cambio de un cierto parámetro de frescura de los alimentos que han sufrido la misma exposición a la temperatura o al tiempo (Kuswandi, 2017). Ambos trabajan en función de la detección indirecta, basados en reacciones de la degradación de la fruta debido a ciertos parámetros de frescura. Estos sensores tienen un diseño personalizado según la etapa de monitoreo, dependiendo si se hace seguimiento a la cadena de distribución del alimento o al paquete en el estante (Alam *et al.*, 2021). Para que los tipos de sensores se utilicen como dispositivos de monitoreo de frescura, la tasa de cambio en el sensor debe correlacionarse con la tasa de deterioro de los alimentos (Kuswandi, 2017).

La frescura de los alimentos se puede expresar en varios términos según el tipo de alimento que se controla. Para carne y pescado, se han presentado en la literatura una variedad de conceptos diferentes para sensores e indicadores de frescura, por ejemplo, nitrógeno básico volátil total (Paquit *et al.*, 2007), aminas, amoníaco, etanol, sulfuro de hidrógeno (H₂S), pH e incluso CO₂ (Kuswandi, 2017), al integrar el sensor o indicador en el paquete de alimentos, el indicador de frescura puede realizarse como un indicador visible o etiqueta que pasa por un cambio de color en presencia del marcador de frescura o analito (Kuswandi, 2017). Un ejemplo de sensores de frescura no directos son los indicadores de tiempo-temperatura (ITT). Actualmente, los que se encuentran en el mercado trabajan con principios químicos, biológicos y físicos (Maschietti, 2010). Una reacción física o química se basa en un cambio físico hacia el tiempo y la temperatura, como reacciones ácido-base, fusión y polimerización, entre otras. Una reacción biológica depende del cambio en la actividad biológica, como microorganismos, esporas o enzimas hacia el tiempo y la temperatura. Los ITT cambiarán de color cuando se expongan a temperaturas de almacenamiento superiores a las recomendadas y también cambiarán cuando el producto llegue al final de su vida útil. Por lo tanto, los ITT basados en la actividad física, química o enzimática en los alimentos darán una indicación clara, precisa e inequívoca de la frescura del producto basada en la calidad, seguridad y vida útil.

La Figura 8 resume los diferentes sensores de frescura según tipología y diseño.

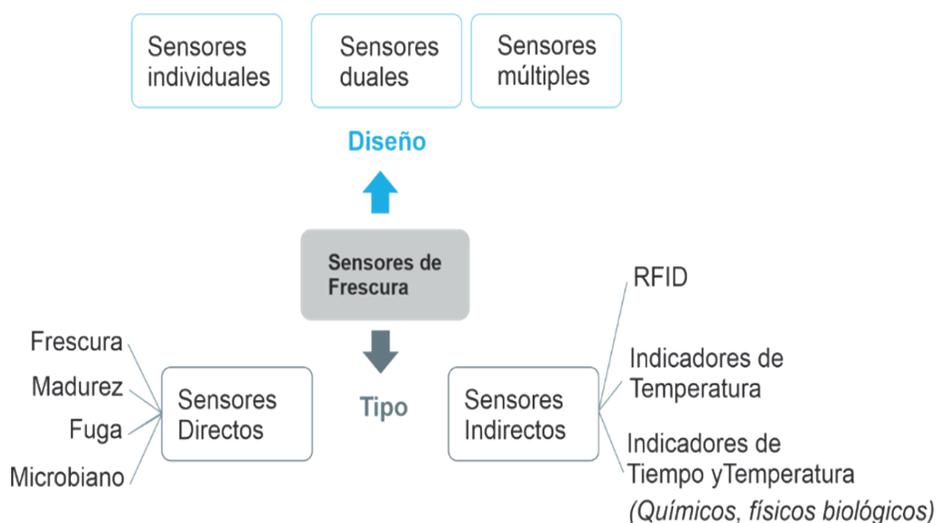


Figura 8. Tipos y diseños de sensores de frescura
 Fuente: adaptación, basada en Kuswandi (2017).

4.1.3. Dispositivos de auto identificación (captura y transporte de datos)

Los dispositivos de auto identificación (o identificación automática, auto ID) son tecnologías que se han venido desarrollado en los últimos 50 años, las más comunes son el código de barras, las memorias de contacto y la radiofrecuencia (RFID). Estas últimas han sido una de las tecnologías de mayor atención y aplicación para empaques inteligentes. Las siglas RFID significan *Radio Frequency Identification* (Identificación por Radio Frecuencia), y son una forma de información de datos de apoyo que puede identificar y localizar un producto con una etiqueta especial que emite radio (Fuerte *et al.*, 2016).

Identificar y rastrear artículos es una tarea crucial para varios sistemas de administración automática con aplicaciones de logística, cadena de suministro y venta minorista. Con este fin, se han desarrollado y utilizado ampliamente sistemas de identificación por radiofrecuencia (RFID). Una etiqueta RFID adherida a la superficie de un artículo sirve como etiqueta para identificar el artículo y puede ser reconocida por un lector RFID (Wang *et al.*, 2019). Se han vuelto muy populares por las diferentes funciones de almacenamiento y transmisión de datos en tiempo real para identificar y rastrear los productos, controlar las condiciones de transporte y almacenamiento (temperatura, humedad) e informar sobre la fecha en la cual fueron empacados, y la composición y el origen del producto (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014). Existen soluciones RFID especializadas en controlar la frescura de los alimentos, donde el estudio en la detección de gas se ha considerado como el principal parámetro de detección y la humedad y la temperatura, como sensores auxiliares (Athauda; Karmakar, 2019).

Las etiquetas RFID presentan varias ventajas, entre ellas, que tienen un formato liviano, flexible, resistente y con amplia capacidad para guardar información, debido a la utilización de chips con una memoria adaptable a los requerimientos. Una de las funciones más importante de las RFID es que automatizan los procesos e identifican la información de las etiquetas de una de manera más precisa, rápida y confiable, comparado con otras tecnologías (incluso se pueden leer 1.000 etiquetas al mismo tiempo). En la industria de alimentos y bebidas, esto muestra la opción de tener una identidad electrónica para cada artículo, es decir, una “personalización masiva” para rastrear la procedencia de un producto (Harrop, 2012).

Los RFID utilizan dos componentes principales (Fuerte *et al.*, 2016), como lo son un microchip o dispositivo que almacena la información según se programe, y una antena que transmite la información al lector utilizando ondas de radio. Pueden ser de baja frecuencia (2 metros, corto alcance) y alta frecuencia (hasta 100 metros, largo alcance). La etiqueta es el elemento que reviste el microchip y la antena para que se puedan adjuntar a un objeto físico.

Las etiquetas RFID funcionan mediante la identificación del objeto en el que se encuentran sobrepuestas, creando una señal de radiofrecuencia con esta información. La señal es recibida por un lector RFID, el cual transmite los datos a una aplicación específica o middleware. Estos dispositivos están disponibles en formatos como pastillas, argollas, tarjetas, rectangulares y otras formas que facilitan ser sobrepuestas en objetos, animales y personas. Los materiales utilizados para el encapsulamiento pueden ser plástico, cartón o vidrio. Los requisitos de uso y el ambiente en el que opera deben estar totalmente definidos para desarrollar una aplicación óptima (Fuerte *et al.*, 2016). Los sistemas RFID se clasifican según el rango de frecuencia utilizado: baja frecuencia (LF), entre 125 y 134,2 KHz; alta frecuencia (HF), 13,56 MHz; frecuencia ultra alta (UHF), 868-956 MHz; y frecuencia activa o frecuencia de microondas, 2,45 GHz (Fuerte *et al.*, 2016). Según la fuente de alimentación, estas etiquetas se clasifican como pasivas, activas, semiactivas y semipasivas (Fuerte *et al.*, 2016).

4.1.3.1. Etiquetas RFID activas

Las etiquetas activas tienen como mínimo un circuito integrado, una antena, una batería y un transmisor. Cuentan con una fuente autónoma de alimentación para alimentar sus circuitos y emitir la señal hasta el lector (Fuerte *et al.*, 2016). Son más robustas y confiables porque transmiten una señal potente que funciona incluso entre elementos que obstaculizan la radiofrecuencia, como metales y fuentes de agua. Por ser más potentes,

ofrecen rangos amplios de lectura que garantizan la comunicación a varios metros de distancia. Además de identificar un producto, se pueden adicionar funciones con sensores integrados, que registran variables como temperatura, humedad, luz, presión, fugas de gas, manipulación y otros elementos que se encuentran en el ambiente, logrando ser muy útiles en diferentes sectores de la industria y no solo en el de alimentos (Kerry; Butler, 2008). Sin embargo, estas ventajas que ofrecen funciones adicionales implican un mayor tamaño y costo de fabricación por requerir otros materiales y elementos electrónicos. No obstante, el tiempo de vida es menos prolongado porque dependen de una batería que se agota.

4.1.3.2. Etiquetas RFID semipasivas

Las etiquetas semipasivas se componen de un circuito integrado, una antena y una fuente de alimentación. En algunos casos, puede tener más componentes. Si se incorpora una batería en este dispositivo semipasivo, puede contar con tareas adicionales como sensores, seguimiento en tiempo real e incluso notificaciones sonoras. Un diferenciador esencial en este tipo de etiqueta es la ausencia de un transmisor integrado, pues este elemento solo está en las etiquetas activas. Esto significa que el área de lectura de estos dispositivos es de corto alcance o muy limitada. El uso de etiquetas RFID semipasivas es pertinente si se requiere agregar funcionalidad, como vigilancia de factores ambientales, donde el producto a rastrear pueda estar cerca o dentro de los rangos de lectura.

4.1.3.3. Etiquetas RFID pasivas

Este tipo de etiqueta requiere solo de dos componentes, una antena y un circuito integrado. La principal característica es que omiten el uso de baterías, permitiendo una manufactura de bajo costo. El funcionamiento depende estrictamente de estar a una mínima distancia del lector, que puede ser desde los 10 cm hasta uno o dos metros, está sujeto a la configuración de la antena, el tamaño y la frecuencia de uso. Un ejemplo de aplicaciones de este tipo de etiquetas está en los sensores de humedad relativa, basados en RFID inalámbricos de última generación, los cuales están siendo ampliamente investigados por el impacto en la detección de alimentos perecederos, la seguridad alimentaria y otras aplicaciones que benefician la agricultura en general (Athauda; Karmakar, 2019). Se deben considerar en detalle los requisitos de uso, debido a que, por la sencillez y austeridad de los componentes, ofrecen un tiempo de vida más prolongado, e incluso resisten ambientes más agresivos por ser más compactas y durables. A cambio de la larga vida útil y bajo costo, las funciones de almacenamiento de datos son limitadas, lo que afecta el libre uso de programas que procesen la información.

4.2. Empaques activos

Esta sección describe de manera general las tipologías de empaques activos, como información complementaria y comparativa, teniendo en cuenta que el tema central de la presente búsqueda corresponde a los empaques inteligentes. Los empaques activos interactúan con el producto, en su manufactura se incorporan tecnologías con el único fin de mejorar la calidad o características de los alimentos que contienen. Por ejemplo, las películas y recubrimientos aptos para consumo humano generalmente utilizan biopolímeros que extraen materias primas como plumas, caparazones de crustáceos y del tejido animal, para evitar el paso de sustancias indeseables. Puede incluir funciones adicionales, como la protección a la luz ultravioleta y el uso de componentes activos, antioxidantes o antimicrobianos que mejoran el sabor y la textura de los productos. Según la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC, 2013), estos empaques tienen ventajas como inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos, mantener condiciones de textura, sabor, color y peso de las frutas, reducir los procesos de oxidación de lípidos, reducir la asimilación de grasas durante la preparación y lograr una apariencia atractiva de los alimentos.

Este tipo de empaque protege características específicas de los alimentos para ampliar la vida útil, respetando las exigencias de alta calidad y seguridad alimentaria. El empaque activo influye en el alimento empacado, lo protege al mismo tiempo que lo vigila. Estas funciones son el resultado de diseñar diversas estrategias como control de temperatura, eliminación de oxígeno, control de humedad, adición de productos químicos como sal, azúcar, dióxido de carbono o ácidos naturales o una combinación de estos con un empaque efectivo (Robertson, 2013).

El empaque activo ha llevado a avanzar en diversas áreas, incluida la oxidación retardada en alimentos musculares, la tasa de respiración controlada en productos hortícolas, el crecimiento microbiano y la migración de humedad en productos secos. Además, el embalaje activo también manipula la selectividad para modificar la concentración atmosférica de compuestos gaseosos dentro del empaque mediante recubrimiento, microperforación, laminación, coextrusión o mezcla de polímeros (Brody; Bugusu; Han; Sand; McHugh, 2008). Más allá de extender la vida útil, los empaques activos también ofrecen un valor agregado en la cadena logística, monitoreando el transporte de los alimentos y disminuyendo consumos innecesarios de materias primas, lo que influye directa y positivamente en los costos de producción y empacado (Hernández-Sánchez, 2016). El empaque activo presenta dos mecanismos de actuación, uno es agregar componentes activos al interior del empaque, haciendo contacto directo con el alimento (cojines o etiquetas); otra forma es agregar componentes activos en el material del empaque. A continuación, se describen algunos sistemas de empaques activos que se destacan por ser los más comerciales.

4.2.1. Tipos de empaques activos

4.2.1.1. Absorbentes de oxígeno

Son empaques con la capacidad de eliminar el oxígeno del ambiente en el que se encuentra el alimento. El oxígeno es uno de los principales causantes del crecimiento de microorganismos como moho o bacterias aerobias, además de producir reacciones químicas como la rancidez, lo que afecta el contenido nutricional del producto e incluso su aspecto. Los sistemas absorbentes reducen estos efectos y alargan la vida útil del alimento. Por ello, se incluyen en empaques flexibles herméticos, etiquetas y botellas, que usen materiales con características específicas y que permitan desarrollar la función de eliminación de oxígeno (Hernández-Sánchez, 2016).

El funcionamiento de los absorbentes de oxígeno se basa en la oxidación o combinación de compuestos diversos como polvo de hierro, ácido ascórbico, polímeros fotosensibles y enzimas. Estas sustancias disminuyen significativamente la presencia de oxígeno, incluso a niveles inferiores al 0,01 %, aumentando las ventajas que los empaques activos tienen frente a empaques de barrera convencionales, que incluyen procesos de empacado al vacío o de atmósfera modificada por gases inertes. Los empaques activos tienen gran aplicación en la industria de alimentos procesados como fruta deshidratada, leche en polvo, té, frijoles, pizza precocida y carnes, entre otros (Hernández-Sánchez, 2016).

4.2.1.2. Absorbentes de humedad

Son dispositivos que monitorean la humedad de los alimentos que tienen mayor riesgo de exponerse a este tipo de ambientes. Su función principal es disminuir la condensación que se genera en la piel de las frutas y vegetales. En la actualidad se encuentran en formatos tipo almohadilla, y se sobreponen en los alimentos en los que se desea extraer la humedad (Hernández-Sánchez, 2016).

4.2.1.3. Absorbedores de etileno

Los productos como las frutas y vegetales empiezan su descomposición muy rápidamente desde el momento de la recolección, y por esto se requieren dispositivos para monitorear el etileno en un proceso posterior a la cosecha, con la finalidad de conservar el tiempo de vida, la calidad y la frescura. En alimentos como las fresas, que empiezan a degradarse rápidamente y tienen un tiempo de vida de anaquel muy corto, es ideal utilizar este tipo de tecnologías que prolongan la frescura del producto, e influyen positivamente el costo de adquirir este tipo de alimento. En el mercado se encuentran dispositivos *It's Fresh*, de tipo activo, para absorber el etileno; vienen en formato tipo almohadilla o en bandejas que tienen la capacidad de impregnarse de gas de etileno. Existen combinaciones de minerales y arcillas con alta porosidad que absorben los gases y merman notablemente el proceso degenerativo del alimento. Entre las aplicaciones más comunes, están los alimentos frescos no procesados, como manzanas, fresas, albaricoque, plátano, mango, aguacates y zanahorias (Hernández-Sánchez, 2016).

4.2.1.4. Absorbentes de dióxido de carbono

Uno de los más destacados agentes inhibidores de la actividad dañina que producen los microorganismos en los alimentos es el dióxido de carbono. Incluir un 60-80 % de este gas en los empaques puede alargar la vida útil del producto. Además de eliminar el O_2 , es importante incluir como complemento en el sistema de empaqueo, un agente generador de CO_2 , debido al grado de permeabilidad de estos agentes deben producirse de manera continua para lograr una concentración equilibrada dentro del empaque. No se recomienda abusar del CO_2 , porque transforma notablemente el sabor de los alimentos. Se sugiere limitar el uso en carnes frescas, carnes blancas, pescado y queso (Prasad; Kochhar, 2014).

En la Tabla 4 se muestran marcas y ejemplos de aplicaciones de empaques activos comercialmente disponibles.

Tabla 4. *Sistemas de empaques activos disponibles comercialmente*

Sistemas de empaques activos disponibles comercialmente			
Marca	Fabricante	Tipo	Principio
Ageless	Mitsubishi Gas Chemical Co. Ltd.	Eliminador de oxígeno	A base de hierro
Freshlizer	Toppan Printing Co. Ltd.	Eliminador de oxígeno	A base de hierro
Freshmax, Freshpax	Multisorb Technologies.	Eliminador de oxígeno	A base de hierro
Oxyguard	Toyo Seikan Kaisha Ltd.	Eliminador de oxígeno	Tinte fotosensible
Zero2	Food Science Australia.	Eliminador de oxígeno	A base de enzimas
Bioka	Bioka Ltd., Finland.	Eliminador de oxígeno	Almohadilla absorbente
Dri-Loc®	Sealed Air Corporation.	Absorbente de humedad	Doble compartimento
Tenderpac®	SEALPAC, Germany	Absorbente de humedad	Basado en plata
Biomaster®	Addmaster Limited.	Empaque antimicrobiano	Basado en plata
Agion®	Life Materials Technology Limited	Empaque antimicrobiano	Recubrimiento antifúngico
SANICO®	Laboratories STANDA.	Intercaladores	Carbón activado
Neupalon	Sekisui Jushi Ltd.	Eliminador de etileno	Arcilla activada
Peakfresh	Peakfresh Products Ltd.	Eliminador de etileno	Zeolitas activadas
Evert-Fresh	Evert-Fresh Corporation.	Eliminador de etileno	Zeolitas activadas

Fuente: elaboración propia, basada en Biji *et al.* (2015).

5. Empaques inteligentes para frutas

Teniendo en cuenta los porcentajes de desperdicio de alimentos perecederos comunes, se pueden establecer prioridades en cuanto a los requisitos de los dispositivos a implementar según la demanda del sector.

La Tabla 5 muestra el desperdicio de alimentos solo en la etapa de producción.

Tabla 5. Desperdicio global de alimentos en porcentaje de producción

Desperdicio global de alimentos en % de producción				
Cereales	Frutas y verduras	Leche	Carne	Pescado
37 %	57 %	18 %	23 %	40 %

Fuente: elaboración propia, basada en Benítez (2013). Tomado de: Webinar y conversatorio para el sector de alimentos. Facebook/Sena Valle.

Sin embargo, en la Figura 9 se observa que el esfuerzo en la disminución del desperdicio de alimentos es una estrategia que debe contemplar al sistema productivo desde el cultivo, la producción o fabricación, el empaque y los procesos de empacado, hasta la distribución, la venta al por menor y el consumo final. Se necesita una mejora en los pasos del sistema de producción, y poner especial atención en los mercados minoristas y los consumidores.

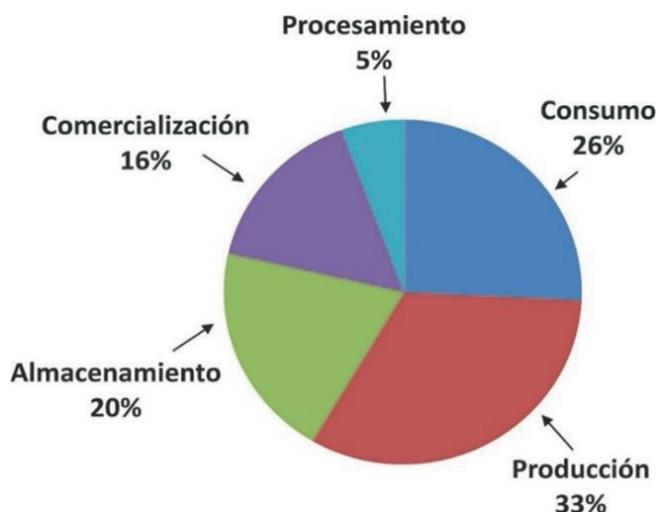


Figura 9. Desperdicio de alimentos en América Latina

Fuente: elaboración propia, basada en Benítez (2013). Tomado de: Webinar y conversatorio para el sector de alimentos. Facebook/Sena Valle.

En general, es más frecuente la aplicación de empaques inteligentes en productos caros y/o sensibles al daño por condiciones de manipulación de distribución, como productos médicos y medicinales o dispositivos electrónicos. El sector de frutas y verduras, en comparación con otros productos alimenticios, es de bajo margen, donde los períodos de retorno de la inversión son más largos, lo cual hace que las decisiones para implementar soluciones técnicas en los problemas estructurales de la organización y la cadena de suministro se pongan en consideración. La normatividad y los costos también son factores que pueden tener alguna contribución en un desequilibrio relativo entre las aplicaciones comerciales reales de envases inteligentes y el interés registrado en las iniciativas y ensayos de investigación y desarrollo. Los sistemas inteligentes, cuya aplicación es potencialmente más relevante para el sector de frutas y verduras, también se centran en: 1) indicadores de tiempo y temperatura; 2) control de la composición del gas y los indicadores de gas, y 3) etiquetas de radiofrecuencia para la identificación y trazabilidad del producto (Kerry; Butler, 2008).

5.1. Requisitos de empaque inteligente para frutas y verduras

Las frutas y verduras frescas son productos altamente perecederos, que requieren condiciones de manipulación controladas en el sistema logístico. Estos productos vivos siguen respirando, consumen oxígeno y producen dióxido de carbono después de la cosecha. El proceso de deterioro posterior a la cosecha está influenciado por factores como el cultivo, la etapa de maduración, sus condiciones de manejo y factores ambientales que dificultan predecir la vida útil (Sousa-Gallagher; Tank; Sousa, 2016).

Además, cuando las frutas se someten a operaciones de procesamiento (e. g., pelado y corte, entre otros), aunque mínimas, se rompen las paredes celulares, se ponen en contacto enzimas y sustratos que promueven el contacto con microorganismos y crean condiciones de estrés. Como consecuencia, hay un incremento en la tasa de respiración y generación de etileno, en la oxidación, pérdida de agua y degradación de las membranas lipídicas. Estos cambios aumentan la susceptibilidad del producto a la degradación y, simultáneamente, producen la acumulación de metabolitos como el etanol, el ácido láctico y el acetato de etilo. Por ello, los procesos de los productos son más exigentes en cuanto a requisitos de envasado, y se hace frecuente el uso de envasado en atmósfera modificada. Las características de barrera, en particular al paso de oxígeno y de dióxido de carbono y su variación con la temperatura, son parámetros que deben seleccionarse cuidadosamente. Los envases activos e inteligentes pueden encontrar en este tipo de productos, un mercado de aplicaciones interesantes para aumentar su vida útil y controlar su calidad y seguridad (Kerry; Butler, 2008).

Los requisitos específicos de empaque para frutas y verduras frescas están esencialmente relacionados con el mantenimiento, control y/o monitoreo, donde destacan tres factores: temperatura-composición, humedad del gas y daños mecánicos. A continuación, se describen las características más relevantes para tener en cuenta en el desarrollo de empaques inteligentes para frutas y vegetales.

5.1.1. Temperatura

La temperatura es el factor individual más importante que puede usarse para retrasar el proceso de deterioro de las frutas y verduras, ya que afecta la respiración, la producción de etileno y las tasas de transpiración. Como regla general, la frecuencia respiratoria aumenta dos o tres veces por cada aumento de 10 °C, y esta variación normalmente puede describirse mediante una ecuación del tipo de Ley de Arrhenius. La energía de activación oscila entre 40 y 105 kJ/mol, y depende de la composición de la atmósfera que rodea el alimento. Sin embargo, algunos productos como el plátano, el limón y el mango son susceptibles a daños fisiológicos a bajas temperaturas. La mayoría de los productos sufren daños irreversibles a temperaturas inferiores a -1 °C. Por lo tanto, el control y monitoreo de temperatura durante las etapas de distribución y almacenamiento son de gran importancia (Kerry; Butler, 2008).

Los indicadores de tiempo y temperatura (TTI) en el sector de frutas y verduras tienen una aplicación particularmente interesante en el caso de productos mínimamente procesados, como ensaladas recién cortadas, ya que estos productos requieren un adecuado control de la temperatura: una superior a la óptima da como resultado una aceleración de la tasa de descomposición, una textura viscosa, y malos olores y sabores. Tampoco se recomiendan temperaturas inferiores a las óptimas, ya que las hojas de las verduras se vuelven translúcidas y la vida útil se acorta debido a la descomposición. Las fluctuaciones de temperatura provocan la acumulación de agua libre en el paquete, lo que aumenta la descomposición (Kerry; Butler, 2008). Los indicadores de temperatura deben cumplir con las siguientes condiciones: activarse fácilmente, exhibir un cambio fácilmente medible que dependa de la temperatura/tiempo, ser irreversible y con un bajo tiempo de respuesta. Por último, debe correlacionarse con el mecanismo de deterioro de los alimentos (Kerry; Butler, 2008).

5.1.2. Impacto

Las condiciones de manejo también son importantes, ya que el daño mecánico causado por impacto, compresión o vibración acelera el proceso de senescencia. La calidad de la fruta como el tomate, por ejemplo, se reduce sustancialmente por hematomas (i. e., impacto). Se considera que el hematoma es un proceso de dos pasos, en el que primero se produce daño mecánico y luego tiene lugar la degradación enzimática del tejido afectado, incluidas las paredes celulares. Esto podría resultar en una rápida descomposición enzimática de los polisacáridos de la pared celular, observada como puntos blandos o hematomas en la fruta. El daño mecánico durante el transporte es la causa principal de la pérdida de calidad del tomate. Las frecuencias de alrededor de 8 Hz y la aceleración de 1 g son condiciones de daño durante el transporte de tomates, y deben evitarse en el sistema de transporte cuando la fruta se empaqueta en cajas de cartón con bandejas de plástico (Kerry; Butler, 2008).

5.1.3. Composición óptima de gas recomendada

La concentración de gases en el entorno del producto también tiene gran influencia en la tasa de respiración. La calidad y la vida útil del producto pueden beneficiarse en gran medida del uso de un sistema de empaquetado en atmósfera modificada. La tasa de respiración disminuye con la disminución de la concentración de oxígeno. El dióxido de carbono tiene, por lo general, un efecto opuesto, aunque depende del tipo de producto, grado de maduración, rango de concentraciones y tiempo de exposición. Por ejemplo, los altos niveles de dióxido de carbono pueden causar daño tisular y, por lo tanto, inducir un aumento en la frecuencia respiratoria. La Tabla 6 representa el rango de concentraciones óptimas de oxígeno y dióxido de carbono para prolongar la vida útil de diferentes frutas y vegetales comunes.

Tabla 6. Características de TTI disponibles comercialmente

Características de tres TTI disponibles comercialmente		
Marca TTI	Principio de funcionamiento	E (kJ/mol)
Monitor Mark [®]	Difusión	33-50
CheckPointR	Reacción enzimática	50-113
Fresh-Check [®]	Polimerización en estado sólido	84-100
OnVu TM	Reacción de estado sólido	N/A
eOR	Cambio de pH debido al crecimiento microbiano	N/A
TT Sensor TM	Reacción de difusión	N/A

Fuente: elaboración propia, basada en Kerry y Butler (2008).

Cada producto necesita una relación de concentración de gas diferente, y a veces muy específica, para maximizar la vida útil. Esta proporción específica depende del cultivo, la temperatura y la duración del almacenamiento. Incluso si el envasado en atmósfera modificada entrega unas proporciones iniciales, estas comienzan a cambiar con el tiempo, debido a procesos respiratorios, particularmente si hay fluctuaciones de temperatura, lo que compromete la vida útil del producto. La concentración de gases depende de la proporción entre la respiración del producto y la transferencia de gas a través del paquete. Estos procesos tienen, en la mayoría de los casos, diferente sensibilidad a la temperatura. Este tipo de variaciones causa una perturbación en el equilibrio y, en consecuencia, una desviación de la relación óptima de concentración de gas. Los materiales de embalaje con permeabilidad a los gases que responden a las variaciones de temperatura son un ejemplo importante de embalaje inteligente para compensar las oscilaciones que se producen durante el transporte (Kerry; Butler, 2008).

5.1.4. Materiales transpirables

Cada fruta y verdura tiene una atmósfera óptima específica que, junto con una temperatura controlada, mejora la preservación de la calidad y frescura de los productos. Sin embargo, si hay una falla en el control de temperatura, la tasa de respiración aumenta y el consumo de oxígeno puede aumentar más allá de la capacidad del empaque, al permitir que el oxígeno ingrese al mismo. Como resultado, la concentración de oxígeno será demasiado baja -y, a la inversa, la concentración de dióxido de carbono será demasiado alta- y el producto se echará a perder. Esta situación se produce porque la tasa de respiración del producto es más sensible a la temperatura en comparación con la permeabilidad de la mayoría de las películas de empaques tradicionales, por ejemplo, el polietileno. En la Tabla 7 se pueden ver algunos ejemplos de los cambios en la frecuencia respiratoria y en la permeabilidad de películas con un aumento de temperatura de 10 °C (Kerry; Butler, 2008).

Tabla 7. Cambio en la frecuencia respiratoria y en la permeabilidad de películas con un aumento de temperatura de 10 °C

Aumento de la velocidad para un cambio de temperatura de 0 a 10 °C	
Brócoli (atmósfera 3 % O ²)	1,86
Permeabilidad de la película de PE	1,4
Permeabilidad de BreatheWayTM	1,8

Fuente: elaboración propia, basada en Kerry y Butler (2008).

Se ha desarrollado un nuevo concepto de empaques fabricados con materiales transpirables, con permeabilidad a los gases, que responden a los cambios de temperatura para compensar las fluctuaciones moderadas que ocurren durante el transporte, y se conocen comercialmente como tecnología de membrana BreatheWay TM (Kerry; Butler, 2008). Es un dispositivo para proporcionar diferentes permeabilidades del empaque, al crear niveles óptimos específicos de oxígeno y dióxido de carbono, y mantener esta composición óptima de la atmósfera dentro de los límites, incluso si la temperatura cambia. Consiste en una membrana de polímero altamente permeable aplicada sobre un agujero en el empaque. Ejemplos de tales polímeros son siloxanos y polímeros acrílicos. El polímero cambia de estado sólido o cristalino a fluido amorfo cuando se calienta.

Esta temperatura de transición brusca funciona como un interruptor, ya que la permeabilidad del polímero cambia, y aumenta significativamente cuando esta incrementa. El interruptor de temperatura permite que la permeabilidad de la membrana aumente hasta 1,8 veces, cuando se produce un aumento de 10 °C, compensando así el aumento en la tasa de respiración del producto. La membrana se puede suministrar para bolsas, revestimientos de cajas y algunos contenedores rígidos. Los polímeros SCC (*stress corrosión cracking* o agrietamiento por corrosión bajo tensión) son altamente permeables, pero sus propiedades pueden modificarse para cambiar la relación de permeabilidades de O₂ a CO₂, y alterar el interruptor de temperatura u otras propiedades físicas, cumpliendo con requisitos específicos del producto. Esta tecnología se usa para envíos de brócoli cortado sin usar hielo, reduciendo los costos de flete y minimizando los problemas causados por interrupciones temporales en la cadena de frío (Kerry; Butler, 2008).

5.1.5. Indicadores de gases y volátiles

En esta clase de indicadores, se incluyen el de deterioro de los alimentos y pérdida o envejecimiento de su calidad, comúnmente conocido como indicador de frescura. Este detecta los metabolitos volátiles que se generan mientras se deterioran los alimentos como dióxido de carbono, diacetilo, aminas, amoníaco, etanol y sulfuro de hidrógeno. En cuanto a la maduración, es la expresión que se utiliza para describir los cambios fisiológicos junto con el desarrollo de características sensoriales y de textura, que hacen que la fruta sea apta para el consumo.

En algunas frutas, los consumidores pueden utilizar los cambios de color para decidir cuándo están maduras y “buenas para comer” (e. g., plátanos, aguacates, tomates). Sin embargo, algunas frutas no muestran una indicación visual obvia de la maduración, como los kiwis y las peras (Kerry; Butler, 2008).

Un ejemplo de aplicación de sensores es la marca RipeSensor, que fueron desarrollados específicamente para las peras. Este empaque es fabricado por termoformado en polietileno tereftalato, para contener 4 peras. El diseño del recipiente, desarrollado para capturar el aroma emitido, protege la fruta de aplastamiento, lo que permite a los minoristas vender fruta madura. El paquete también incorpora patas entrelazadas para un fácil apilamiento y visualización en un ángulo de 35°, y orificios de ventilación que permiten que el exceso de CO₂ y la humedad se libere. El sensor cambia de color al detectar cuando la fruta produce aromas en su proceso de maduración. El dispositivo es color rojo, cambia a naranja y luego a amarillo. Tanto el sensor como el color coinciden con las preferencias de maduración, así el consumidor selecciona las frutas según el grado de maduración que desee.

5.1.6. RFID en frutas y verduras frescas mínimamente procesadas

Rastrear los productos es una de las principales funciones en este tipo de etiquetas, pero la incorporación de la tecnología RFID, asociada con los sensores adecuados, puede proporcionar mucha más información, incluso crear una base de datos móvil que se “mueva” con el producto (Kerry; Butler, 2008). La marca registrada Merit-Trax Technologies Inc. (Canadá) desarrolló una aplicación basada en RFID para registrar e informar vigilancias de calidad y condiciones ambientales de frutas y verduras frescas desde el momento en que se recogen del cultivo hasta la venta al por menor. Otra empresa canadiense, Sensor Wireless Inc., es la que proporciona la tecnología de sensores. Syscan International Inc. suministra el RFID, y MeritTrax contribuye con su aplicación de software Trax-IT Fructus, solución que proporciona gestión de trazabilidad y calidad e inspección.

La tecnología RFID tiene beneficios inherentes, uno de ellos es que se puede leer cientos de datos simultáneamente y en cualquier ángulo, así como a través del embalaje. Sin embargo, la implementación será gradual, a medida que la tecnología madure y se vuelva menos costosa. Particularmente para el sector de productos frescos, que es típicamente una industria con alto volumen y bajo margen, la limitación del costo sigue presente. Sin embargo, se espera que, a medida que aumente la demanda de tecnología RFID, los costos disminuyan (Kerry; Butler, 2008).

Hay muchos retos por resolver, existen diversos estándares y los sistemas informáticos internos a menudo no son compatibles con RFID ni con procedimientos aún en desarrollo. Si bien ya existen algunos estándares desarrollados para sistemas RFID de baja y alta frecuencia para etiquetas UHF, no se han terminado de desarrollar. Por otro lado, las antenas para etiquetas RFID se vuelven frágiles y necesitan estar instaladas en carcasas rígidas para evitar daños por impacto mecánico. La Tabla 8 menciona los principales problemas que deben abordarse en la implementación de RFID en la industria de frutas y verduras. La aplicación de RFID en la cadena de suministro de alimentos ha despertado interés, y se ha realizado un gran esfuerzo en el desarrollo de los requisitos técnicos de la aplicación de la tecnología, la mecánica y la viabilidad de las etiquetas y los lectores.

Tabla 8. Desafíos específicos de RFID en el sector de frutas y hortalizas

Desafíos específicos de RFID en el sector de frutas y hortalizas	
Especificaciones	Descripción
Ubicación del embalaje y aplicación de etiquetas.	Aplicación de etiqueta en el campo o en el almacén, para rastrear cada caja o cada palet.
Contenido de agua del producto.	Puede afectar la selección de la frecuencia de operación de la etiqueta.
Condiciones de manipulación.	Influye en la durabilidad de las etiquetas: manipulación de productos pesados que golpean la etiqueta pueden provocar daños en estas, dependiendo de su peso/densidad y forma.
Tratamiento poscosecha	Las etiquetas deben soportar los altos valores de humedad en refrigeración. Cámaras y tratamientos como, por ejemplo, el de dióxido de azufre.
Densidad de palet.	Relación con la legibilidad de las etiquetas.
Orientación de etiquetas.	N/A
Tipo de embalaje.	Recipiente de plástico reutilizable (retornable) o corrugado uso único).
Aplicación de etiquetas.	Las etiquetas se pueden incrustar en el propio contenedor o se pueden aplicar mediante una etiqueta; los paquetes flexibles presentan más dificultades.

Fuente: elaboración propia, basada en Kerry y Butler (2008).

6. Tendencias

Para el futuro, se pronostica un incremento en el desarrollo de empaques inteligentes, que responderán a nuevas dinámicas de los usuarios, quienes cada vez son más conscientes de lo que compran, buscando garantía y seguridad. Desde el año 2017, la Asociación de la Industria del Empaque Activo e Inteligente (AIPIA) tiene el claro objetivo de incorporar estas tecnologías en empaques tradicionales, hasta llegar a copar la demanda actual (Manly, 2016). Otras empresas que invierten en investigación, como Sintef, diseñan empaques elaborados en materiales biodegradables extraídos de la naturaleza, donde los modelos de prueba integran dispositivos inteligentes para registrar características de la calidad del producto, e informan al usuario la fecha de caducidad del alimento (Dawood, 2016).

En Colombia, ya existen empresas interesadas en incorporar a sus empaques tecnologías de inteligencia. Una de ellas es el grupo Nutresa, quien implementa tecnología RFID en los paquetes para facilitar el reconocimiento y selección de aquellos productos derivados del cacao que serán exportados (Institución Universitaria Esumer, 2018). El aumento de compras por internet es una nueva razón que tienen los fabricantes de empaques para comenzar a incluir tecnologías que mejoren la experiencia de compra, con estrategias como la realidad aumentada, donde se exhiben las bondades del producto (González, 2015). De acuerdo con la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC, 2013), en el sector de productos alimenticios la tendencia va hacia la “eliminación” del empaque, un ejemplo de esta innovación desde el origen del producto mismo es el diseño de películas o recubrimientos comestibles, que además de proteger y conservar el alimento, desaparecen una vez que cumplen con su función. La innovación desde los materiales es otra línea de investigación que se enfoca en uso de biopolímeros, los cuales son extraídos de fuentes naturales (Institución Universitaria Esumer, 2018).

6.1. Indicadores de frescura

Se prevé que las necesidades del mercado de sensores de frescura en los sistemas de empaqueo de alimentos tendrán un gran futuro. Existe una creciente necesidad de información sobre los alimentos en los empaques, ya que los consumidores desean saber cada vez más qué ingredientes hay en el producto y cómo se debe almacenar y consumir. Esto también significa que debe haber un cambio radical en el suministro de esta información. Se espera de estos sensores una comunicación directa con el cliente a través de una película sensible o un dispositivo tipo etiqueta que brinde información visual sobre la frescura, la calidad y la seguridad de los alimentos en tiempo real. La integración de estos dispositivos en los empaques optimiza el control en los sistemas de rotación de inventarios y, lo más importante, contribuye a reducir el desperdicio de alimentos (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014).

Por el lado de los empaques activos que influyen en algunas características del alimento, como la textura, el sabor o el color, podrían ser rechazados por los consumidores si perciben que estos no son completamente naturales, sino que se ha disimulado cierta condición (Butler, 2005). Otras clasificaciones de empaques inteligentes, como los indicadores de fuga, de manipulación inadecuada, aquellos que detectan agentes patógenos, o alteración por bioterrorismo, pueden ser aceptadas por el consumidor, una vez existan normas o leyes que filtren primero si es conveniente acatar este tipo de tecnologías (Butler, 2005). En el punto 7 del presente documento se realiza una lista con la normatividad que aplica para Colombia.

6.2. Tecnología electrónica impresa

La electrónica impresa (*printed electronics*) es una tecnología emergente que se realiza sobre sustratos flexibles utilizando tintas eléctricamente funcionales. Las propiedades únicas de los sensores electrónicos impresos incluyen peso ligero, flexible, enrollable, portátil y plegable. Algunos elementos como circuitos, sensores y antenas se pueden imprimir en una variedad de sustratos, materiales y tintas conductoras, cada uno diseñado para operar de manera eficiente (Vanderroost *et al.*, 2014). Productos funcionales, como las etiquetas que cambian de color para indicar el estado de un alimento, van a necesitar de procesos productivos de bajo costo como lo es la electrónica impresa. Existe un enorme potencial para esta tecnología, porque se ha pensado incluso en que las fechas de uso de estas etiquetas se ajusten de manera automática solo en el momento en que se sobrepone en los alimentos, lo que los convierte en dispositivos ajustables, más precisos y confiables para indicar el deterioro del alimento (Butler, 2005). El uso de esta tecnología hace posible el desarrollo de “papeles interactivos”. Un ejemplo es el proyecto desarrollado por ACREO, en colaboración con AddMarkable AB, en el que se crea un envase que emite luz y sonidos cuando se toca, y donde el sensor se imprime sobre el mismo material de la botella sin usar etiquetas adicionales (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014).

7. Normatividad

Cuando se tenga definido el tipo de empaque más conveniente para un producto en términos de función y conservación, se debe revisar la normatividad para garantizar el cumplimiento de requerimientos mínimos establecidos, que incluyen aspectos sanitarios y de información. En Colombia, existen diferentes normas para empaques (Cámara de Comercio de Bogotá, 2017). En la Tabla 9 se mencionan las más relevantes para tener en cuenta en la manufactura de empaques que están en contacto directo con alimentos:

Tabla 9. Normograma

Resumen de normas y leyes más relevantes para empaques de alimentos				
Jerarquía	Número	Descripción	Fecha emisión	Entidad emisora
Norma Técnica Colombiana (NTC)	918	Norma que tiene por objeto establecer el método para la designación de los envases metálicos herméticos para alimentos y bebidas y especifica las tolerancias permitidas en la capacidad de estos. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec], 1975).	1975	Icontec
Norma Técnica Colombiana (NTC)	1257	Norma que tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir las películas de polietileno de baja densidad para el empaque de alimentos (Icontec, 1991).	1991	Icontec
Norma Técnica Colombiana (NTC)	512-1	Norma que tiene por objeto establecer los requerimientos mínimos de los rótulos o etiquetas de los envases o empaques en que se expenden productos alimenticios (Icontec, 2007).	2007	Icontec
Norma Técnica Colombiana (NTC)	512-2	Norma que tiene por objeto establecer las condiciones y requisitos que debe Cumplir el rotulado nutricional de los alimentos envasados que se comercializan en Colombia en cuyos rótulos o etiquetas declaren información nutricional (Icontec, 2006).	2006	Icontec
Resolución	683	Reglamento Técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano (Ministerio de Salud y Protección Social [Minsalud], 2012a).	2012	Minsalud
Resolución	4142	Reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos metálicos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano en el territorio nacional (Minsalud, 2012b).	2012	Minsalud
Resolución	834	Reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos celulósicos y sus aditivos, destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano (Minsalud, 2013a).	2013	Minsalud

Resumen de normas y leyes más relevantes para empaques de alimentos				
Jerarquía	Número	Descripción	Fecha emisión	Entidad emisora
Resolución	835	Reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos de vidrios y cerámicas destinados a estar en contacto con alimentos y bebidas para el consumo humano (Minsalud, 2013b).	2013	Minsalud
Resolución	333	Reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados para consumo humano (Minsalud, 2011).	2011	Ministerio de la Protección Social
Resolución	5109	Reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado que deben cumplir los alimentos envasados y materias primas de alimentos para consumo humano (Minsalud, 2005).	2005	Ministerio de la Protección Social

Fuente: elaboración propia, basada en Minsalud (2012a; 2011; 2005); Icontec (1975); Resolución 683 y Resolución 4142.

8. Conclusiones

La alta demanda y el interés en desarrollar empaques inteligentes para la industria alimenticia están muy ligados a los esfuerzos en la reducción del desperdicio de alimentos a nivel mundial. A este primer reto se suma un tema de gran importancia, que es el cumplimiento de altos estándares de calidad que garanticen la seguridad alimentaria a los consumidores finales. Esto último conlleva a profundizar cada vez más en la formulación de nuevos requerimientos que deben cumplir este tipo de empaques, por estar en contacto directo o indirecto con productos de consumo humano.

A partir de esta recopilación de tipologías, es posible definir rutas de investigación para centros de formación y de asistencia técnica a empresas relacionadas al sector (Solís-Molina *et al.* 2018). Una línea abordable para las capacidades regionales, en cuanto a empaques inteligentes, es el diseño de biosensores o sensores químicos que se integren a contenedores de alimentos plásticos, tanto rígidos como flexibles. Teniendo en cuenta las tres grandes líneas de desarrollo de empaques inteligentes —indicadores, sensores y dispositivos de auto identificación—, se visualiza también una oportunidad en el desarrollo de dispositivos de auto identificación desde el área de ingeniería electrónica y telecomunicaciones. Como tendencia a futuro, está la electrónica impresa, que simplifica de manera contundente aspectos como la flexibilidad de los dispositivos y bajo costo. Es entonces en este camino por donde se puede iniciar una exploración práctica. El empaque inteligente como producto independiente es solo una parte de un sistema diseñado para la transformación de los alimentos: siembra, recolección, almacenamiento, procesamiento, empaque, distribución, transporte, vida de anaquel y desecho. Por ello, es un producto que debe responder a los diferentes eslabones de este sistema, con conocimiento de dónde estará ubicado para brindar un óptimo desempeño. La Tabla 10 recoge como resultado cuatro clústeres que representan grandes campos de conocimiento relacionados principalmente con la preservación de la comida, la cadena de suministro, la electrónica impresa y los biopolímeros.

Tabla 10. Clústeres según palabras clave “smart packaging”

Clústeres de palabras claves relacionadas con con Smart packaging	
Clúster	Palabras clave
1. Preservación de la comida	Amoníaco, animal, animales, antocianina, antocianinas, antioxidante, artículo, química, quitosano, color, colorimetría, estudio controlado, envasado de medicamentos, <i>Escherichia coli</i> , pescado, análisis de alimentos, contaminación de alimentos, microbiología de alimentos, envasado de alimentos, conservación de alimentos, calidad de los alimentos, deterioro de alimentos, almacenamiento de alimentos, humanos, concentración de iones de hidrógeno, carne, no humanos, pH, procedimientos, microscopía electrónica de barrido, deterioro, almidón, temperatura, resistencia a la tracción.
2. Cadena de suministro	Envases activos, biosensores, costos, alimentos, procesamiento de alimentos, productos alimenticios, seguridad alimentaria, suministro de alimentos, materiales inteligentes, envases inteligentes, marketing, carnes, envases en atmósfera modificada, nanosensores, nanotecnología, envases, envases, aplicaciones, máquinas de envasado, materiales de envasado, tecnologías de envasado, desarrollo de productos, control de calidad, identificación por radiofrecuencia, RFID, vida útil, envases inteligentes, cadenas de suministro, desarrollo sostenible, tecnología.
3. Electrónica impresa	Biocompatibilidad, celulosa, películas de celulosa, paquetes de escala de chips, polímeros conductores, electrónica flexible, tinta, impresión por chorro de tinta, etiquetas, diodos emisores de luz, monitoreo, películas de nanocompuestos, nanocomposites, nanopartículas, sensores ópticos, papel, electrónica impresa, impresión, serigrafía, sensores, plata, sustratos, transistores de película delgada, películas delgadas, óxido de zinc.
4. Biopolímeros	Polímeros biodegradables, biopolímeros, películas plásticas, polímero, polímeros.

Fuente: elaboración propia según resultados VOS Viewer de la búsqueda en Scopus (2021).

8.1 Limitaciones y futuras líneas de investigación

Siguiendo la línea de dispositivos de autoidentificación, que pueden ser desarrollados desde el área de la electrónica, es posible realizar propuestas que ofrezcan un valor agregado en el subsistema de transporte y logística. Se sugiere que en próximos estudios se incluyan bases de datos como Web of Science (WoS) y otras especializadas en materiales poliméricos biobasados o de origen fósil, para vincular el campo de los empaques activos e inteligentes con los polímeros utilizados para incorporar este tipo de dispositivos (Alexander-Guancha; Realpe-Delgado; García-Celis, 2021). Asimismo, este estudio recoge referencias sobre dispositivos de control y monitoreo, sin abarcar los materiales de los empaques tradicionales o de barrera.

Referencias

- Ahvenainen, Raija (2003). Active and intelligent packaging: an introduction. In R. Ahvenainen (Ed.). *Novel Food Packaging Techniques Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition* (pp. 5-21). Woodhead Publishing.
<https://doi.org/10.1533/9781855737020.1.5>
- Alam, Arif; Rathi, Pranali; Beshai, Heba; Sarabha, Gursimram; Deen, Jamal (2021). Fruit Quality Monitoring with Smart Packaging. *Sensors*, 21(4), 1509.
<https://doi.org/10.3390/s21041509>
- Alexander-Guancha, Marcelo; Realpe-Delgado, Maria; García-Celis, Jaqueline (2021). Obtención polihidroxialcanoatos (PHA) a partir de biomasa lignocelulósica: un estudio de revisión. *Informador Técnico*, 86(1), 111-135.
<https://doi.org/10.23850/22565035.3692>
- Alocija, Evangelyn; Radke, Stephen (2003). Market analysis of biosensors for food safety. *Biosensors and Bioelectronics*, 18(5-6), 841-846.
[https://doi.org/10.1016/S0956-5663\(03\)00009-5](https://doi.org/10.1016/S0956-5663(03)00009-5)
- Athauda, Tharindu; Karmakar, Nemai (2019). Review of RFID-based sensing in monitoring physical stimuli in smart packaging for food-freshness applications. *Wireless Power Transfer*, 6(2), 161-174.
<https://doi.org/10.1017/wpt.2019.6>
- Benítez, R. (2013). Losses and food waste in Latin America and the Caribbean. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado de <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/en/c/239392/>
- Biji, K.; Ravishankar, C.; Mohan, C.; Srinivasa-Gopal, T. (2015). Smart packaging systems for food applications: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 6125-6135.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-015-1766-7#citeas>
- Brody, Aaron; Bugusu, Betty; Han, Jung; Sand, Claire; McHugh, Tara (2008). Innovative food packaging solutions. Scientific status summary. *Journal of Food Science*, 73(8), 1750-3841.
<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00933.x>
- Butler, Paul (Julio de 2005). Empaques inteligentes para calidad y seguridad de los alimentos. *El Empaque*. Recuperado de <http://www.eempaques.com/temas/Empaques-inteligentes-para-calidad-y-seguridad-de-los-alimentos+4041694?tema=4310000&pagina=2>
- Cámara de Comercio de Bogotá (2017). *La importancia del empaque en la elección del producto*. Recuperado de <https://www.ccb.org.co/Sala-de-prensa/Noticias-sector-agricola-y-agroindustrial/Noticias-2017/La-importancia-del-empaque-en-la-eleccion-del-producto>
- Chen, Shoue; Brahma, Sandrayee; Mackay, Jonathon; Cao, Changyong; Aliakbarian, Bahar (2020). The role of smart packaging system in food supply. *Journal of Food Science*, 85(3), 517-525.
<https://doi.org/10.1111/1750-3841.15046>

- Coma, Véronique (2006). Perspectives for the Active Packaging of Meat Products. En L. Nollet; F. Toldrá (Eds.). *Advanced Technologies for Meat Processing* (pp. 449-472). Boca Ratón, FL: Taylor & Francis Group.
- Contreras-Camacho, Mónica (2018). Empaques activos para conservación de alimentos en base de formulaciones poliméricas. *Ciencia Cierta*, 56. Recuperado de <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2018/12/11/empaques-activos-para-conservacion-de-alimentos-en-base-de-formulaciones-polimericas/>
- Dawood, Sarah (2016, 16 de mayo). This new smart packaging has sensors that show when food has expired. *Designweek*. Recuperado de <https://www.designweek.co.uk/issues/16-22-may-2016/this-new-smart-packaging-has-sensors-that-show-when-food-has-expired/>
- Dow Plásticos (9 de septiembre de 2013). Cosas buenas vienen de empaques inteligentes [Video]. *YouTube*. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=NBJGx6X69_c
- Escandón, Juan; Escobar, Jose; Narváez, Aura; Ramirez, Paulo (2017). *Proyecto mora*. Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje SENA.
- Fuerte, Guillermo; Soto, Ismael; Carrasco, Raúl; Vargas, Manuel; Sabattin, Jorge; Lagos, Carolina (2016). Intelligent Packaging Systems: Sensors and Nanosensors to Monitor Food Quality and Safety. *Journal of Sensors*, 2016, 4046061. <https://doi.org/10.1155/2016/4046061>
- González, F. (2 de febrero de 2015). El futuro del empaque: 4 tendencias que lo determinarán. *Merca 20*. Recuperado de <http://www.merca20.com/el-futuro-del-empaque-4-tendencias-que-lo-determinaran/>
- Grupo de Alto nivel de Expertos en Seguridad Alimentaria y Nutrición (2014). *Las pérdidas y el desperdicio de los alimentos en el contexto de sistemas alimentarios*. Roma: Secretaría HLPE-FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3901s.pdf>
- Harrop, P. (2012). Radio-frequency identification (RFID) for food and beverage packaging applications. En K. Yam; D. Lee (Eds.), *Emerging Food Packaging Technologies* (pp. 153-174). Cambridge: Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857095664.2.153>
- Hernández-Ruiz, Maydel (2006). *Evolución de los envases inteligentes en la industria alimenticia*. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos34/envases-inteligentes/envases-inteligentes.shtml>
- Hernández-Sánchez, Y. (2016). El papel de los empaques activos en la industria alimenticia. *Clepsidra*, 11(2), 93-98.
- Institución Universitaria Esumer (2018). Empaques activos e inteligentes. *Revista Mercatec*, 54, 24-30.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (1984). NTC 918:1975 *Maderas. Determinación de la dureza -metodo Janka*. Bogotá: Icontec.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2006). NTC 512-2:2006 *Industrias alimentarias. rotulado o etiquetado. Parte 2: rotulado nutricional de alimentos envasados*. Bogotá: Icontec.

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2007). NTC 512-1:2007 *Industrias alimentarias. Rotulado o etiquetado. Parte 1. Norma general*. Bogotá: Icontec.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (1991). NTC 1257:1991 *Plásticos. Películas de polietileno de baja densidad para empaques de alimentos*. Bogotá: Icontec.
- Kalpana, S.; Priyadarshini, S.; Maria-Leena, M.; Moses, J.; Anandharamakrishnan, C. (2019). Intelligent packaging: Trends and applications in food systems. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 145-157. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.008>
- Kerry, Joseph; Butler, Paul (Eds.). (2008). *Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods*. Nueva York, NY: John Wiley & Sons.
- Kress-Rogers, Erika (1998). *Chemosensors, biosensors and immune sensors. Instrumentation and sensors for the food*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Kuswandi, Bambang (2017). *Freshness Sensors for Food Packaging*. Nueva York, NY: Elsevier.
- Kuswandi, Bambang; Wicaksono, Yudi; Jayus, Jay; Abdullah, Aminah; Heng, Lee; Ahmad, Musa (2011). Smart Packaging: Sensors for monitoring of food quality and safety. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, 5, 137-146. <https://doi.org/10.1007/s11694-011-9120-x>
- Lydekaitye, Justina; Tambo, Torben (2020). Smart packaging: definitions, models, and packaging as an intermediary between digital and physical product management. *The International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*, 30(4), 377-410. <https://doi.org/10.1080/09593969.2020.1724555>
- Mahalik, Nitaigour; Nambiar, Arun (2010). Trends in food packaging and systems and technology. *Trends in Food Science & Technology*, 21(3), 117-128. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.12.006>
- Manly, Andrew (2016). Empaques activos e inteligentes: cada vez más cerca de la 'masa crítica'. *El Empaque*. Recuperado de <https://www.eempaques.com/temas/Empaques-activos-e-inteligentes,-cada-vez-mas-cerca-de-la-masa-critica+110844>
- Maschietti, Marco (2010). Time-Temperature Indicators for Perishable Products. *Recent Patents on Engineering*, 4(2), 129-144. <https://doi.org/10.2174/187221210791233425>
- Miltz, J, P.; Passy, N.; Mannheim, C. H. (1995). Trends and applications of active packaging system. In P. Ackerman; M. Jagerstad; M. Ohlsson (Eds.). *Food and packaging materials—Chemical interaction* (pp. 201-2010). London, England: The Royal Soc. Of Chemistry.
- Ministerio de la Protección Social (10 de febrero 2011). *Resolución 333 de 2011*. Recuperado de https://normograma.invima.gov.co/docs/resolucion_minproteccion_0333_2011.htm
- Ministerio de la Protección Social (29 de diciembre de 2005). *Resolución 5109 de 2005*. Recuperado de https://scj.gov.co/sites/default/files/marco-legal/resolucion_005109_2005%20%281%29.pdf

- Ministerio de Salud y Protección Social (28 de marzo de 2012a). *Resolución 683 de 2012*. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-0683-de-2012.pdf>
- Ministerio de Salud y Protección Social (7 de marzo de 2012b). *Resolución 4142 de 2012*. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-4142-de-2012.pdf>
- Ministerio de Salud y Protección Social (26 de marzo de 2013a). *Resolución 834 de 2012*. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-0834-de-2013.pdf>
- Ministerio de Salud y Protección Social (26 de marzo de 2013b). *Resolución 835 de 2013*. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-0835-de-2013.pdf>
- Narváez-Agudelo, A. E.; Moreno-Serrano, J. E.; Chamorro, J. A.; Mora-Londoño, N. K.; Quejada Moya, M. J.; Solís-Molina, M.; . . . Quiñones, I. (2009). *Plan Tecnológico 2018*. Cali: Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria ASTIN.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2019). FAO en Colombia. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. *Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de los alimentos*. Roma: FAO.
- Ozdemir, Murat; Floros, John (2004). Active Food Packaging Technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(3), 195-193. <https://doi.org/10.1080/10408690490441578>
- Paquit, Alexis; Frisby, June; Diamond, Danny; Lau, King; Farrell, Alan; Quilty, Brid; Diamond, Dermot (2007). Development of a smart packaging for the monitoring of fish spoilage. *Food Chemistry*, 102(2), 435-550. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.052>
- Posada, Juan; Montes-Flórez, Emmanuel (2021). Revisión: materiales poliméricos biodegradables y su aplicación en diferentes sectores industriales. *Informador Técnico*, 86(1), 94-110. <https://doi.org/10.23850/22565035.3417>
- Prasad, Priyanka; Kochhar, Anita (2014). Active Packaging in Food Industry: A Review. *IOSR Journal of Environmental Science Toxicology and Food Technology*, 8(5), 01-07. <https://doi.org/10.9790/2402-08530107>
- Procolombia (2016). *Manual de empaque y embalaje para exportación*. Recuperado de https://procolombia.co/sites/default/files/manual_de_empaque_y_embalaje_para_exportacion.pdf
- Robertson, Gordon (2013). *Food Packaging: Principles and Practice*. Nueva York, NY: Routledge.
- Rodríguez-Sauceda, Raquel; Rojo-Martínez, Gustavo; Martínez-Ruiz, Rosa; Piña-Ruiz, Hugo; Ramírez-Valverde, Benito; Vaquera-Huerta, Humberto; Cong-Hermida, Milagros (2014). Envases inteligentes para la conservación de alimentos. *Ra Xhimba*, 10(6), 151-173.
- Schaefer, Dirk; Cheung, Wai (2018). Smart Packaging: Opportunities and Challenges. *Procedia CIRP*, 72, 1022-1027. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.240>

Scopus (2021). *Página de inicio*. Recuperado de www.scopus.com

Silvestre, Clara; Duraccio, Donatella; Cimmino, Sossio (2011). Food packaging based on polymer nanomaterials. *Progress in Polymer Science*, 36(12), 1767-1782.
<https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.02.003>

Sivertsvik, Morten (2007). Lessons from other commodities: Fish and meat. In L. W. Charles (Ed.). *Intelligent and Active Packaging for Fruits and Vegetables* (pp. 151-164). CRC Press, Taylor and Francis Group.

Solís-Molina, Miguel; Barahona-Hernández, Dayro; Mora-Londoño, Nidia; Chamorro, Johanna; Quiñones, Iber (2018). *Prospección del Centro ASTIN al 2030*. Cali: Servicio Nacional de Aprendizaje SENA.

Sousa-Gallagher, M.; Tank, A; Sousa, R. (2016). Emerging Technologies to Extend the Shelf Life and Stability of Fruits and Vegetables. In P. Subramaniam (Ed.). *The Stability and Shelf Life of Food* (pp. 399-430). Woodhead Publishing.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100435-7.00014-9>

Superintendencia de Industria y Comercio (2013). *Tecnología en envases*. Recuperado de
<http://www.ibepi.org/wp-content/>: <http://www.ibepi.org/wp-content/>

Vanderroost, Mike; Ragaert, Peter; Devlieghere, Frank; de Meulenaer, Bruno (2014). Intelligent food packaging: The next generation. *Trends in Food Science & Technology*, 39(1), 47-62

Vermeiren, L.; Devlieghere, F.; van Beest, M.; de Kruijf, N.; Debevere, J. (1999). Developments in the active packaging of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 10(3), 77-86.
[https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(99\)00032-1](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(99)00032-1)

Wang, Ge; Jinsong, Han; Chen, Qian; Wei, Xi; Han, Ding; Jiang, Zhiping; Zhao, Jizhong (2019). Verifiable Smart Packaging with Passive RFID. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 18(5), 1217-1230.
<https://doi.org/10.1109/TMC.2018.2852637>

Yam, Kit; Takhistov, Paul; Miltz, Joseph (2005). Intelligent packaging: concepts and Applications. *Journal of Food Science*, 70(1).
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09052.x>