



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**TECNOLOGÍAS DE ENVASE ACTIVO. ASPECTOS GENERALES Y**

**ANÁLISIS DE SU SITUACIÓN ACTUAL**

**TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACIÓN**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**QUÍMICA DE ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**ALICIA VICTORIA CÓRDOVA LARA**



**MÉXICO, D.F.**

**2012**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:**                   **Profesor: Francisco Javier Casillas Gómez.**

**VOCAL:**                           **Profesor: Miguel Ángel Hidalgo Torres.**

**SECRETARIO:**                   **Profesor: Rodolfo Fonseca Larios.**

**1er. SUPLENTE:**               **Profesor: Esmeralda Paz Lemus.**

**2° SUPLENTE:**               **Profesor: Alejandro Rafael Zavala Rivapalacio.**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**ASESOR DEL TEMA: RODOLFO FONSECA LARIOS**

---

**SUPERVISOR TÉCNICO: ALEJANDRO RAFAEL ZAVALA RIVAPALACIO**

---

**SUSTENTANTE: ALICIA VICTORIA CÓRDOVA LARA**

---

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A mis padres:**

Por el apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida. Gracias por esperar todo este tiempo con paciencia y cariño, dando siempre un gran ejemplo de honradez y tenacidad. Mi gratitud es tan grande como el amor que siento por ustedes.

### **A los profesores:**

#### **Rodolfo Fonseca**

Por haberme apoyado y motivado en el desarrollo de este trabajo desde el comienzo hasta el final ofreciéndome sus conocimientos y experiencia.

#### **Alejandro Zavala**

Por ofrecerme su experiencia en su área para estructurar este proyecto y por todos los consejos que me brindó durante el proceso de desarrollo del trabajo.

#### **A Mixtli:**

Por todas las palabras de aliento y consejos de los últimos años que me han servido de guía en los momentos en que he estado más desorientada en diferentes aspectos de mi vida además del material de trabajo para concluir la tesis.

#### **Al profesor Andrés:**

Por mostrarse interesado en mi trayectoria académica y proceso de titulación.

Y a todos los demás profesores, compañeros y amigos que influyeron en mí durante estos años de carrera, que no fue fácil concluir pero que gracias a ustedes fue una época maravillosa llena de irremplazables momentos e importantes lecciones.

# ÍNDICE

	<b>Páginas</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	4
<b>METODOLOGÍA</b>	7
<b>CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES DEL ENVASE ACTIVO</b>	9
1.1 Definición de envase	10
1.2 Definición de envase funcional	12
1.3 Definición de envase activo	13
1.4 Pasado del envase activo	16
1.5 Clasificación de las distintas tecnologías de envasado activo	18
1.6 Impacto en la calidad y la seguridad en la industria de alimentos	24
1.7 Impacto en el mercado	25
1.7.1 Mercado Global del envase activo	26
1.8 Aspectos legales	30
1.8.1 Perspectiva de USA y Europa	30
<b>CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE ENVASADO ACTIVO</b>	35
2.1 Situación actual del envase activo	36
2.2 Sistemas de envase activo que son empleados en la industria de alimentos y fundamento	37
2.2.1 Tecnología Recolectora de O <sub>2</sub>	37
2.2.2 Sistemas emisores de CO <sub>2</sub>	54
2.2.3 Sistemas recolectores de CO <sub>2</sub>	56
2.2.4 Recolectores de etileno	58
2.2.5 Recolectores de humedad	61
2.2.6 Sistemas antimicrobianos	67

2.2.7	Sistemas liberadores de antioxidantes	104
2.2.8	Sistemas emisores y recolectores de aroma y sabor	108
2.2.8.1	Emisores de aroma	108
2.2.8.2	Recolectores de sabores	110
2.2.9	Nanoestructuras	114
2.2.10	Envases enzimáticamente activos	118
2.2.11	Sistemas liberadores de agua	123
2.2.12	Envasado de control de temperatura	124
2.2.13	Compensadores de temperatura	126
2.2.14	Películas incrustadas de color	127
2.2.15	Sistemas que absorben o regulan la luz	127
2.2.16	Películas antiadherencia	127
2.2.17	Susceptores de microondas	128
2.2.18	Empaques permeables/respirables a gas	128
2.2.19	Empaques repelentes de insectos	128
2.2.20	Sistemas de envasado activo con función dual	129
2.2.21	Otros sistemas activos	132
2.3	Sistemas de envase activo y sus diferentes presentaciones aplicadas a la industria de alimentos	133
2.4	Productos alimenticios en los que emplean	139
2.5	Países que actualmente los incluyen en su mercado	141
2.6	Motivos por los cuales son empleados	142
2.6.1	Ventajas y desventajas del empleo de envases activos	146
2.6.2	Razones por las cuales cada país o zona los acepta o los rechaza	149
2.7	Del uso de los sistemas de envase activo en la industria de alimentos en México	152
	<b>CAPÍTULO 3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>	<b>156</b>
3.1	Discusión	157

3.2 Conclusiones	158
<b>REFERENCIAS</b>	161
<b>ANEXO</b>	173
A) Características generales de los sistemas de envasado activo	174
B) Normas aplicables a los sistemas de envasado activo	176

# INTRODUCCIÓN

## INTRODUCCIÓN

El objetivo del envasado es contener al alimento de una manera rentable, que satisfaga las necesidades de la industria de alimentos y los deseos de los consumidores, manteniendo la seguridad alimentaria y reduciendo al mínimo el impacto ambiental (Marsh, 2007).

El envasado de alimentos tradicional se entiende como el apoyo mecánico para la protección a influencias externas como microorganismos, oxígeno, malos olores, luz, etc., lo que garantiza la comodidad en la manipulación de alimentos y la preservación de la calidad de los mismos durante un período de tiempo prolongado. El objetivo clave de seguridad para estos materiales tradicionales en contacto con alimentos es ser lo más inertes posibles, es decir que muestren un mínimo de interacción entre el alimento y el envase (Day, 2008).

Nuevas tecnologías de envasado de alimentos han sido desarrolladas como una respuesta a las demandas del consumidor y a las tendencias de producción industrial hacia productos alimenticios levemente preservados, frescos, sabrosos y cómodos con vida útil prolongada y calidad controlada. Además de cambios en prácticas de venta (tales como globalización del mercado, resultando en una mayor distribución de alimento) o formas de vivir del consumidor (resultando en menos tiempo dedicado a la compra de alimentos en el mercado y cocinado), presentando mayores desafíos para la industria de envasado de alimentos y actuando como fuerza impulsora para el desarrollo de conceptos de envasado nuevos que extienden la vida útil mientras mantienen y monitorean la seguridad y la calidad alimentaria (Quintavalla, 2002).

Una de estas nuevas tecnologías es el envasado activo que ofrece grandes oportunidades en la conservación de alimentos siendo su objetivo la extensión de la vida útil, el mantener o incluso mejorar la calidad y proporcionar alimentos seguros además de cumplir con las demandas del consumidor, ofreciendo productos con una mayor frescura basándose en interacciones deliberadas entre el envase o

componentes del mismo con el alimento o con su entorno, cambiando las condiciones e influyendo en la atmósfera dentro del empaque o en el mismo producto empacado, inhibiendo el crecimiento de microorganismos de deterioro y patógenos, y previniendo la migración de contaminantes.

El presente trabajo tiene como objetivo la recopilación de información sobre aspectos generales de las tecnologías de envasado activo para dar una visión más clara acerca ellas, y así poder plantear y analizar con mayor detenimiento la situación actual de dichas tecnologías en la industria de alimentos. También con este trabajo se busca ofrecer una fuente de información para aquellas personas que deseen ya sea considerar esta opción de envasado para el desarrollo de un nuevo producto o incluso para la mejora de uno ya existente, o plantear una legislación que abarque este tipo de envase y así aumentar su aplicación en la industria de alimentos en el mercado en que se establezca.

# **METODOLOGÍA**

## **METODOLOGÍA**

1. Investigación preliminar para seleccionar el tema a desarrollar en base a la información disponible de diferentes fuentes y recursos.
2. Confección de la bibliografía sobre el tema ya elegido.  
Fuentes a utilizar:
  - Revistas científicas
  - Revistas electrónicas y de dominio público
  - Medios electrónicos en general
3. Planteamiento del objetivo y los alcances de este proyecto.
4. Planteamiento del protocolo de investigación a seguir.
5. Concreción del plan para llevar a buen fin la elaboración del proyecto.
6. Elaboración de resumen.
7. Análisis de información recopilada.
8. Desarrollo del proyecto.
9. Discusión.
10. Conclusión.

**CAPÍTULO 1.**  
**ASPECTOS GENERALES**

## CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES

### 1.1 DEFINICIÓN DE ENVASE

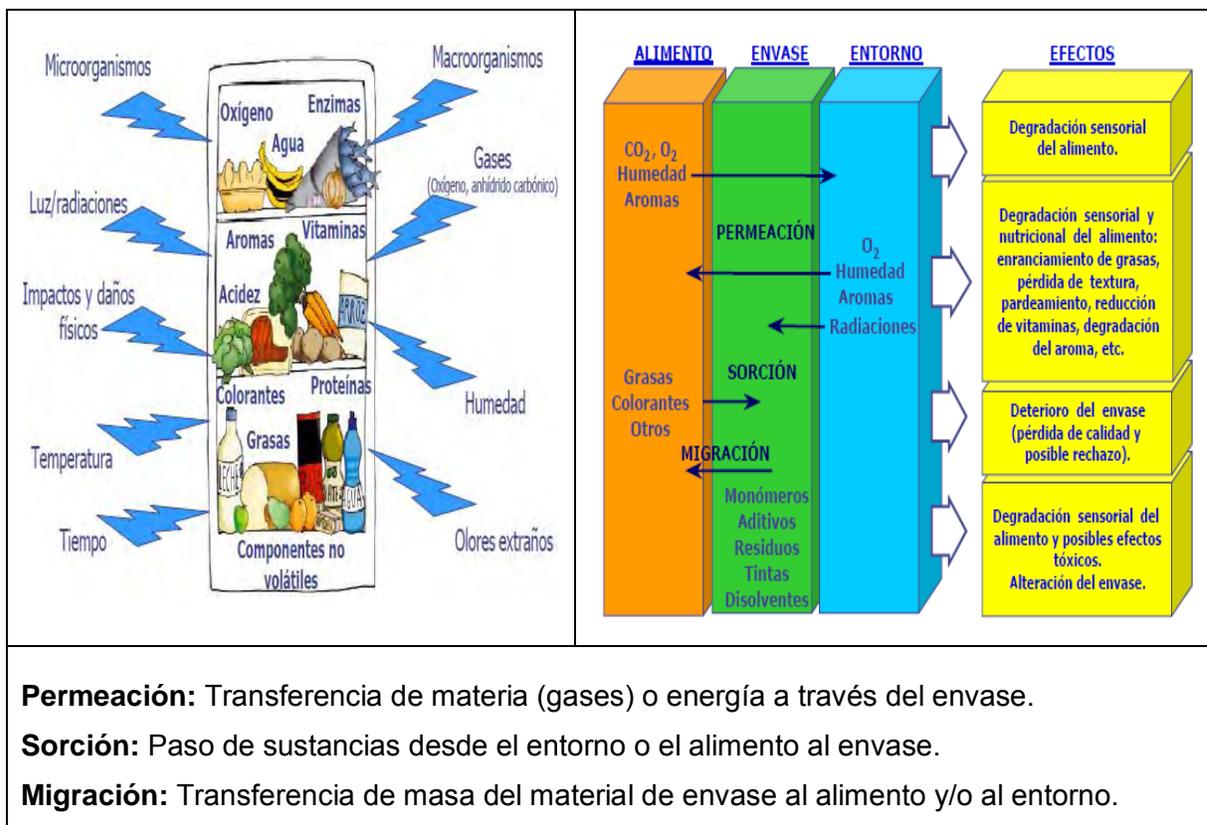
De acuerdo con la **NOM-051-SCFI-/SSA1-2010 4/27** el envase es cualquier recipiente, o envoltura en el cual está contenido el producto preenvasado para su venta al consumidor.

Han (2000); Marsh (2007); Hong & Gontard (2008); Restuccia (2010) están de acuerdo en que el envasado de alimentos tradicional se entiende como apoyo mecánico de alimentos protegiéndolos de influencias externas y daño. Esta función principal del envasado implica: minimizar la pérdida; el retardo del deterioro; la extensión de la vida útil; el mantenimiento de la calidad, la seguridad e inocuidad del alimento envasado.

El envasado protege de influencias del medio ambiente así como de cambios físicos, químicos y microbiológicos. Algunos de los factores de los que el envase protege al alimento son: calor, luz, la presencia o ausencia de humedad, oxígeno, presión, enzimas, malos olores, microorganismos, plagas (insectos y roedores), suciedad y partículas de polvo, emisiones gaseosas, etc. que causan el deterioro de los alimentos y bebidas (Mortensen, 1999; Meroni, 2000; Skandamis, 2002; López-Rubio, 2004; Marsh, 2007; Gontard, 2008; Restuccia, 2010; Cruz, 2011).

En la figura 1.1.1 muestra algunas de las interacciones más importantes del alimento-envase-entorno durante la distribución y almacenamiento de productos alimenticios envasados.

La vida de anaquel es controlada mediante tres factores: características del producto, propiedades, y condiciones de almacenamiento y distribución del empaque individual (Mortensen, 1999).



**Fig. 1.1.1. Interacciones Alimento-envase-entorno (Galet, 2009).**

Para prolongar la vida útil se utilizan o aplican diversas estrategias tales como el control de temperatura; control de humedad; adición de sustancias químicas como son sal, azúcar, dióxido de carbono, o ácidos naturales; eliminadores de oxígeno; o una combinación de estos con un envasado efectivo (Gontard, 2008; Restuccia, 2010).

Otras funciones principales del envase incluyen contención pasiva, comodidad, comercialización, y la comunicación (Meroni, 2000; Restuccia, 2010; Cruz, 2011). La contención permite garantizar que un producto no sea intencionalmente derramado o dispersado. La función de comunicación es realizar el enlace entre los consumidores y el procesador de alimento. Contiene información obligatoria tal como peso, fuente, ingredientes, y ahora, valor nutricional y precauciones de manipulación como uso

requerido por la ley. La promoción del producto o la comercialización por compañías es logrado por los empaques en el punto de compra. Funciones secundarias de importante aumento incluyen trazabilidad, indicación de manipulación y porción de control (Marsh, 2007; Restuccia, 2010). Es bien sabido que el objetivo clave de la seguridad para estos materiales tradicionales en contacto con alimentos es ser lo más inerte posible, esperando que exista una mínima interacción entre el alimento y el envase (Gontard & Day, 2008; Restuccia, 2010; Cruz, 2011).

## **1.2 ENVASE FUNCIONAL**

Meroni (2000); Skandamis (2002); Gontard (2008); Lee & Restuccia (2010) mencionan que la tarea de la protección de productos está evolucionando hacia un capacidad más efectiva de la creación de micro ambientes existiendo de esta manera una interacción deliberada entre el envase y el alimento que conserva y a menudo transforma al alimento.

El nuevo concepto de envasado funcional muestra esta evolución. Este tipo de envase desarrolla funciones que no son tradicionalmente atribuidos a operaciones de acondicionamiento, pero que involucra los procesos actuales de tecnología alimentaria. Estos desafían el rol tradicional del envase, dando un ámbito mucho más amplio de posibilidades (Meroni, 2000).

Las maneras en que el envase funcional puede intervenir son múltiples y cubren un espectro amplio: desde las notables confecciones de auto calentamiento y auto congelamiento a envasado anatómico que es específicamente diseñado en torno a los contenidos; desde el suministro de accesorios a los consumidores a la liberación controlada de sustancias; desde las temperaturas controladas durante el cocinado con microondas a la maduración controlada de fruta (Meroni, 2000).

Ahvenainen (1997); Meroni (2000); De Kruijf (2002); López-Rubio 2004; De Jong (2005); Kerry (2006); Day & Gontard (2008); Restuccia (2010) consideran que este tipo de envases es dividido en dos categorías: inteligente y activo. El término 'inteligente' indica confecciones que tienen un indicador que monitorea la historia del empaque y/o la calidad de los productos alimenticios. El término 'activo' indica soluciones que constantemente interactúan activamente ya sea con la atmósfera interna de una confección (variando la composición cualitativa y cuantitativa) o directamente con el producto contenido (ya sea a través de la mediación o la emisión de sustancias útiles que mantienen o mejoran la calidad o mediante la eliminación de sustancias perjudiciales).

### **1.3 DEFINICIÓN DE ENVASE ACTIVO**

Los sistemas de envase activo realizan otro rol que sólo ser una barrera inerte al medio ambiente ya que cambian las condiciones de envasado mediante interacciones deliberadas entre el alimento, el envase o componentes del envase y la atmósfera interna de gas, y cumple con las demandas del consumidor para productos de una alta calidad, con una apariencia fresca, segura y cómodos. Mayormente, el objetivo del empaque activo es incrementar la vida útil del producto contenido y mantener o mejorar las condiciones de envasado sin la adición directa de los agentes activos al alimento. De esto último se deduce que pueden mantener o incluso mejorar la calidad del alimento debido a que pueden inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos y de deterioro o prevenir la migración de contaminantes garantizando de esta manera la seguridad del alimento empacado (Ahvenainen, 1997; Devlieghere, 1999; Han, Hong, Nielsen & Scannell, 2000; Quintavalla & Skandamis, 2002; Paseiro-Losada & Suppakul, 2003; Devlieghere, López-Rubio & Ozdemir, 2004; De Jong, Miltz & Strathmann, 2005; Charles, Kerry, Lagaron,

Markarian, 2006; Coma, Day, Gontard, Hong & Roncales, 2008; Nerín, 2009; Gavara, Lee & Restuccia, 2010; Cruz, Gavara & Roncalés, 2011).

Las condiciones del alimento en la definición del envase activo pueden jugar un rol determinando la vida útil de los productos alimentarios empacados, tales como procesos fisiológicos (por ejemplo, respiración de frutas y vegetales frescos), procesos químicos (por ejemplo, oxidación lipídica), procesos físicos (por ejemplo, envejecimiento del pan, deshidratación), aspectos microbiológicos (por ejemplo, deterioro por microorganismos) e infestación (por ejemplo, por insectos). Estas condiciones pueden ser reguladas de muchas maneras por medio de la aplicación de los sistemas activos apropiados (De Kruijf, 2002). Dependiendo de los requerimientos del alimento empacado y de que los mecanismos únicos de deterioro de este sean entendidos y controlados, el deterioro de la calidad del alimento puede ser reducido significativamente (De Kruijf, 2002; López-Rubio, 2004; Restuccia, 2010). De esta manera, la extensión deseada de la vida útil del alimento empacado puede ser lograda.

El envasado activo incluye aditivos que son capaces de recolectar o absorber sustancias como oxígeno, dióxido de carbono, etileno, radicales, humedad y/o olores y sabores indeseables; liberando agentes activos y otras sustancias como oxígeno, dióxido de carbono, humedad, etanol, sorbatos, antioxidantes y/o otros conservadores y antimicrobianos; y/o que mantienen el control de la temperatura. De esta manera el sistema activo controla la atmósfera interna del empaque (Ahvenainen, 1997; Devlieghere, 1999; Han & Hong, 2000; De Kruijf & Quintavalla, 2002; Paseiro-Losada & Suppakul, 2003; López-Rubio, Murat & Ozdemir, 2004; Strathmann, 2005; Salafranca, 2007; Coma & Day, 2008; Lee, López-de-Castillo & Restuccia, 2010; Gavara, 2011).

**Tabla 1.3.1. Principales factores de deterioro de alimentos y la solución a estos (Ponce, 2012)**

<b>Factor de deterioro</b>	<b>Solución</b>
Oxidación	Absorbedores de O <sub>2</sub> Antioxidantes
Desarrollo microbiano	Antimicrobiano CO <sub>2</sub>
Pérdida de humedad	Humectantes
Condensación/exudado	Almohadillas absorbentes Desecantes
Acumulación de gas	Válvula de presión Absorbedores de CO <sub>2</sub>
Aromas indeseables	Carbón/liberación de aroma y sabor

Los envases activos son diseñados para incorporar deliberadamente componentes que liberarán o absorberán sustancias constantemente en o del alimento envasado o al medio ambiente que rodea al alimento (Han & Nielsen, 2000; López-Rubio, 2004; Day & Gontard 2008; Lee & Restuccia, 2010; López-de-Castillo, 2011).

El diseño de envases activos incluyen agentes en su estructura los cuales pueden actuar o ser liberados en una forma controlada (Restuccia, 2010). Los materiales y artículos activos pueden estar compuestos de una o más capas o partes de diferentes tipos de materiales, tales como plásticos, papel, y cartón o revestimientos y barnices (Gontard, 2008; Restuccia, 2010).

Los materiales usados son a menudo muy diferentes de los materiales tradicionales, tanto en composición como en forma y topología. La capacidad de diferentes reacciones químicas, enzimáticas, fotoquímicas y físicas son usadas (Meroni, 2000).

Existen muchos tipos diferentes de materiales y artículos activos. El sistema activo puede ser un componente separado que contenga la sustancia activa colocado

dentro del empaque, como es el caso del uso de sobres o puede ser una parte integral del empaque al ser incorporadas las sustancias activas directamente al material del empaque, simplificando así la manipulación y mejorando la seguridad del consumidor mediante la eliminación de la posibilidad de la ingestión accidental del dispositivo (Hong, 2000; López-Rubio, 2004; Markarian, 2006; Salafranca, 2007; Gontard, 2008; Restuccia, 2010).

Sin embargo, el desafío del diseño de un envase activo para un producto terminado tiene más que hacer en el área de aplicaciones para dar ventajas al consumidor final a través de la calidad del alimento, ofreciendo también la garantía de medios higiénicos, adecuados para la conservación y de preparación del alimento. Gracias a su gran nivel de posibilidades y la gran cantidad de problemas que resuelve, el envase activo prueba ser muy interesante, y se encuentra ya en difusión rápida (Meroni, 2000).

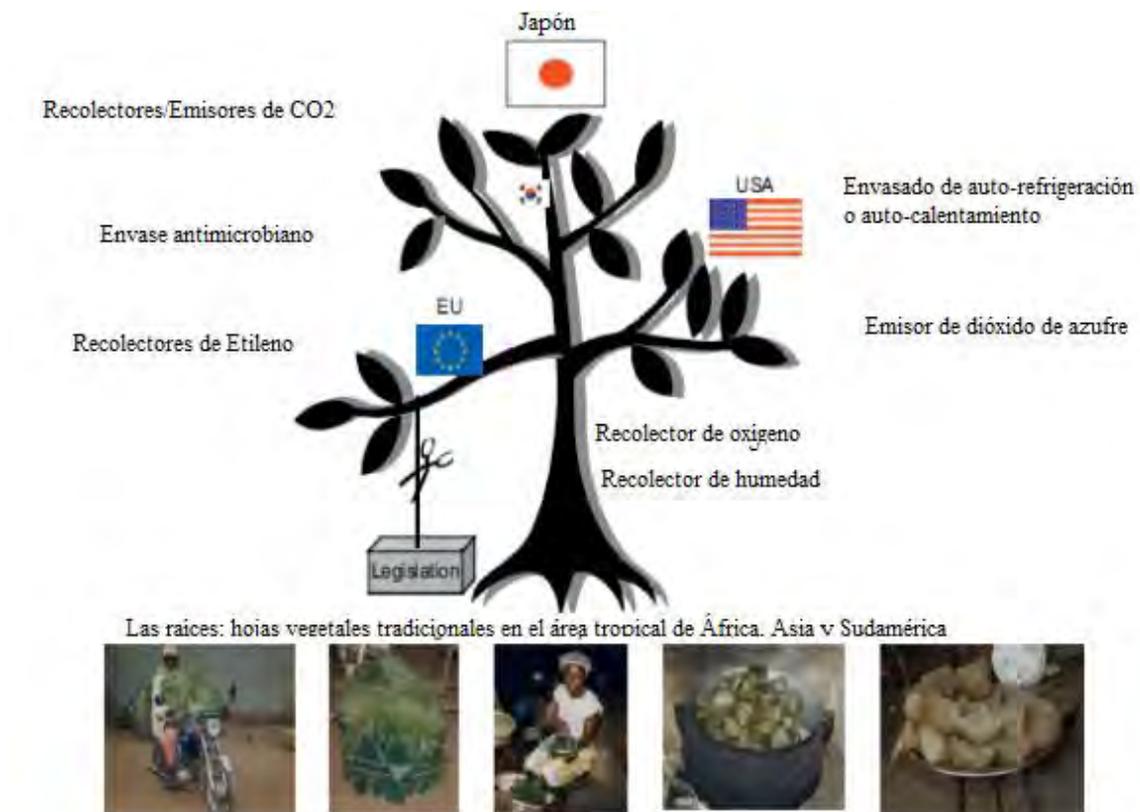
#### **1.4 PASADO DEL ENVASE ACTIVO**

Por muchos años, la interacción empaque-producto se creyó tener un efecto negativo sobre el producto o sobre el empaque (Ahvenainen, 1997; Strathmann & Miltz, 2005). Así, los altos niveles de solventes residuales (tales como tolueno o cloruro de metileno) originarios de la laminación o el proceso de impresión o monómeros residuales, tales como estireno, del proceso de polimerización cuando se presentan en un paquete pueden migrar hacia el producto y causar efectos adversos. Alternativamente, los componentes del producto, tales como D-limoneno, podrían ser absorbidos por el empaque, resultando en una reducción en sus propiedades mecánicas. Ambos tipos de interacciones son ciertamente negativas, y deben ser evitados o eliminados (Miltz, 2005).

En el envasado activo el producto, el empaque y el medio ambiente interactúan de una manera positiva, resultando ya sea en una extensión de la vida útil del producto o en la obtención de algunas propiedades específicas que no pueden ser obtenidas por otros medios. Tales interacciones son benéficas y son por lo tanto buscadas (Miltz, 2005).

Gontard (2008) menciona que paradójicamente, mientras que el concepto de envasado activo e inteligente es ahora considerado como “moderno”, el concepto pertenece a tradiciones ancestrales de todas las áreas tropicales del mundo. En regiones de África, Asia y América del Sur, las hojas vegetales fueron, y aún son tradicionalmente usadas para el envasado de alimentos con un importante mercado dedicado a la comercialización de hojas. Más allá de sus usos como una simple “barrera”, numerosas variedades de hojas vegetales son usadas por su capacidad de transferencia a alimentos de sustancias aromáticas, coloridas, enzimas (como es papaína) o antimicrobianos (como son aceites esenciales). El envase con hojas vegetales interactúa con los alimentos para modificar su textura, propiedades organolépticas y desacelerar la descomposición microbiana. También son usadas por su capacidad para cambiar el color con la temperatura y/o el tiempo, por lo tanto juegan el rol de indicador de cocción y frescura. Las hojas han sido también usadas por años en regiones Mediterráneas de Europa para envolver quesos tradicionales permitiendo un buen proceso de manufactura.

En países desarrollados, los absorbedores de humedad y oxígeno estuvieron entre las primeras series de envasado activo en ser desarrollados y exitosamente aplicados para mejorar la calidad del alimento y extender la vida útil (como es para delicatessen y carnes cocidas etc.). Siguiéndolos, otros numerosos conceptos como son emisores de etanol (por ejemplo para productos de panadería), absorbedores de etileno (por ejemplo para frutas climatéricas), emisores/absorbedores de dióxido de carbono, etc. han sido desarrollados (Fig. 1.4.1).



Árbol del envase activo: las raíces en hoias vegetales activas de países tropicales, ejemplo de los principales materiales de envase activo comercializados en países desarrollados y principales países donde estos materiales fueron desarrollados.

**Fig. 1.4.1. Historia del envase activo (Gontard, 2008)**

## 1.5 CLASIFICACIÓN DE LAS DISTINTAS TECNOLOGÍAS DE ENVASADO ACTIVO

El investigador Gontard (2008) considera que los principios detrás de los envases activos están basados ya sea en las propiedades intrínsecas del polímero o soporte usado como propio del material de envasado o en la introducción (inclusión o en trampa, etc.) de sustancias específicas dentro del material de envasado.

Un agente activo puede ser incorporado en el interior del material de envasado o en su superficie, en estructuras multicapas o en elementos particulares asociados con el envasado como son sobres, etiquetas o tapas de botella.

La naturaleza de los agentes activos que pueden ser agregados es muy diversa (ácidos orgánicos, enzimas, bactericidas, fungicidas extractos naturales, iones, etanol, etc.) así como la naturaleza de los materiales en que son incluidos como son papeles, plásticos, metales o combinación de estos materiales que pueden actuar sobre la superficie del alimento sólido o en la mayor parte de los alimentos líquidos.

**Algunas maneras de clasificar a los envases activos son:**

**A) Meroni (2000) toma en cuenta el nivel de complejidad por el que pueden ser usados para pronosticar escenarios de aplicación potencial:**

- Un nivel básico de envase activo incluye las innovaciones, que producen una transformación perceptible de los métodos de envasado y distribución de alimentos pero que no alteran las características organolépticas o intrínsecamente estéticas de los productos alimenticios o que permiten las distribuciones logísticas fundamentales. Este es el caso, por ejemplo, del envasado anatómico, que interactúa con la atmósfera del envase o el producto mismo para eliminar sustancias indeseables que ellos mismos producen durante un largo tiempo sobre el anaquel (como son oxígeno, humedad, olores, líquidos).
- Un nivel intermedio de complejidad incluye soluciones que potencialmente influyen, de una manera más directa, en los aspectos logísticos de producción o en las condiciones de consumo. Esto es en el caso de envases que ejercen, en contacto, acción antimicrobiana directa sobre el producto o en los materiales usados para el envasado y de aquellos que ayudan a la

maduración del producto; de aquellos que transforman el acto de consumo simultáneamente, por ejemplo el tiempo óptimo y variado de cocción en un microondas, a través del uso de materiales receptivos.

- Un nivel superior de complejidad de innovación incluyendo soluciones que combinan todos los elementos anteriores, preparando el camino para productos comestibles creativos, estos son conceptos completamente nuevos. El ejemplo más notable es sin lugar a dudas las películas sintéticas que transmiten color y olor al producto que rodean.

**B) Smith (1999); Ozdemir (2004); Kerry (2006); Gontard (2008); Gavara & Lee (2010) clasifican al envase activo mediante las formas de aplicar el componente activo al envase:**

- **Componente activo en el interior del envase**

El uso de pequeñas bolsas o sobres que contienen el principio activo (sustancias que actúan absorbiendo oxígeno, CO<sub>2</sub>, humedad, etc.) constituyen el sistema más desarrollado y utilizado hasta la actualidad. Estas bolsitas están fabricadas con un material permeable que, por una parte, permite actuar al compuesto activo y, por otra, impide el contacto del mismo con el alimento. Estos dispositivos deben ser resistentes a las roturas y además de ir convenientemente etiquetados para evitar que se ingiera su contenido.

En este último caso, los sistemas pueden estar en contacto únicamente con la atmósfera que rodea al alimento, en contacto con la superficie del alimento o colocado en el interior del propio alimento (para alimentos líquidos). Esto explica la diversidad del potencial de innovación en este campo pero también representan un desafío real para la evaluación de la seguridad.

- **Componente activo incluido en el material del envase**

Como alternativa al uso de bolsas se están desarrollando materiales para envasado, películas sintéticas y comestibles, que contienen el principio activo en su estructura (aditivos, agentes antimicrobianos, enzimas, etc.). Se basan en fenómenos deseables de migración ya que ceden al producto envasado sustancias beneficiosas.

Como ventajas de esta técnica cabe destacar que se consigue que toda la superficie del componente activo entre en contacto con el producto y que el consumidor no encuentre ningún elemento extraño en el producto adquirido.

- **Otra opción es tener el componente activo fuera del envase primario incorporando el sistema activo en un envase secundario**

El dispositivo en el envase secundario modifica el espacio de cabeza del envase primario adjunto. Una gran ventaja de este tipo de envase es que el sistema no es visto por el consumidor, eliminando así la posibilidad de manipular el dispositivo o de reaccionar negativamente a él. La desventaja de su uso es que esta práctica aumenta los costos del envasado.

**C) Investigadores como Gontard (2008); Lee (2010) clasifican al envase activo de acuerdo a su capacidad migratoria:**

- Envase activo no migratorio actuando sin migración intencional. El envasado activo no migratorio es un embalaje que provoca una respuesta deseable de los sistemas de alimentos sin la migración del componente activo. Algunos ejemplos de estos sistemas son los absorbentes de humedad, recolectores de oxígeno, recolectores de etileno, sistemas antimicrobianos a base de plata.
- Envase activo liberador permitiendo una migración controlada de agentes no volátiles o una emisión de compuestos volátiles en la atmósfera rodeando al

alimento (Fig. 1.5.1). Ejemplos de este tipo de sistemas son los emisores de etanol, emisores de vapor de agua, emisores de dióxido de azufre.



**Fig. 1.5.1. Esquema de los dos diferentes tipos de materiales en contacto con alimento (MCA) clasificados en función de migración intencional o no intencional (Gontard, 2008).**

**D) Keijf (2002); Salafranca (2007); Nerín (2009); Gavara (2011) clasifican al envase activo de acuerdo a su capacidad recolectora o emisora.**

- Los absorbedores eliminan sustancias no deseadas como oxígeno, exceso de agua, etileno, dióxido de carbono, olores, sabores y otros componentes específicos de los alimentos.
- Los emisores aportan activamente al alimento envasado sustancias como dióxido de carbono, etanol, azufre, agua, antioxidantes o conservantes.

Tanto los sistemas que absorben como los que liberan tienen como objetivo extender la vida útil y/o mejorar de la calidad del alimento (Keijf, 2002)

**E) Ahvenainen (1997) toma en cuenta la aceptación de las técnicas de envasado desde el punto de vista de la migración para clasificarlo en:**

**Grupo A1:** Son sistemas o técnicas que incluyen sustancias que no son químicas con la finalidad de transferirlos a los alimentos envasados, pero que absorben/adsorben los compuestos de los alrededores de los alimentos (absorbedores de oxígeno) o compuestos liberados de los alimentos (absorbedores de dióxido de carbono, absorbedores de etileno, absorbentes de humedad). Con el fin de asegurar su óptimo funcionamiento, estos sistemas no están destinados a entrar en contacto directo con los alimentos envasados sino que se colocan en el espacio libre de cabeza de un empaque o se fija a la superficie interna de la tapa del envase. Sin embargo, en la práctica la mayoría de estos sistemas están más o menos en contacto directo con los alimentos envasados.

**Grupo A2:** Los sistemas de calidad que emiten los agentes conservantes, como el dióxido de carbono y el etanol. No están destinados a entrar en contacto directo con los alimentos. Sin embargo, en la práctica tienen la misma situación que los sistemas del primer grupo.

**Grupo A3:** Son aquellos sistemas de calidad con agentes de conservación tales como sustancias no volátiles antimicrobianas o antioxidantes que tienen por finalidad ser transferidas a la superficie de los alimentos envasados (materiales interactivos de los envases) y los sistemas que absorben / adsorber sustancias (por ejemplo, agua) de la superficie de un producto alimenticio. Es obvio que para obtener el uso óptimo de estos sistemas la mayoría de ellos han sido destinados a entrar en contacto directo con alimentos.

## **1.6 IMPACTO EN LA CALIDAD Y LA SEGURIDAD EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS**

Ozdemir (2004); Hong (2008) consideran que el uso de materiales de envasado adecuados así como métodos para minimizar las pérdidas de alimento y proporcionar productos alimenticios sanos y seguros ha sido siempre el enfoque del envasado de alimentos. Investigadores como Smith (1994); Ahvenainen (1997); Devlieghere (1999); Nielsen (2000); De Kruijf & Skandamis (2002); Suppakul (2003); López-Rubio & Ozdemir, (2004); Markarian (2006); Gontard & Hong, (2008); Restuccia (2010); Galic (2011) coinciden en que las demandas del consumidor y/o las tendencias de producción industrial se han intensificado durante la última década hacia productos alimenticios ligeramente procesados, frescos, sabrosos, ya preparados, con vida útil prolongada, de calidad controlada y por supuesto sanos y seguros; además de cambios en las prácticas de venta (tales como la globalización del mercado resultando en mayor distribución de alimentos), o de la forma de vida de los consumidores (que varía la distribución de alimentos en el mercado y la cocina), presentando cambios principales para la industria de envasado de alimentos y actuando como fuerza motriz para el desarrollo de nuevos y mejorados conceptos de envasado, como respuesta a estas demandas y nuevas tendencias, donde una útil interacción entre el envase, el medio ambiente y el alimento se produce.

En años recientes, los materiales activos han tenido cada vez más aplicaciones en los empaques de alimento ya que los conceptos tradicionales de envasado son limitados en su capacidad para prolongar la vida útil de los productos alimenticios (Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002; Devlieghere, 2004). Esto ocurre tanto con productos alimenticios nuevos como con los ya existentes siempre y cuando los mecanismos de deterioro del alimento estén entendidos y controlados (López-Rubio, 2004; Day, 2008; Restuccia, 2010).

Los recolectores de O<sub>2</sub> y sistemas liberadores de antioxidantes pueden ser más usados en productos sensibles a O<sub>2</sub> para extender su vida de anaquel. Los

desecantes han sido usados extensamente con alimentos secos y sensibles a la humedad. Los recolectores de  $C_2H_4$  han encontrado su aplicación en la industria productora de horticultura, y los sistemas liberadores de antimicrobianos pueden ser usados con alimentos de panadería, queso y otros productos (Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002; Gontard, 2008).

Debido a su interacción deliberada con el alimento y/o su medio ambiente esta tecnología plantea nuevos cambios para la evaluación de su seguridad en comparación al envasado tradicional; por ejemplo, la migración de sustancias del envase al alimento, el uso incorrecto del envase debido al etiquetado insuficiente, la operación no eficaz del envasado, etc. (Gontard, 2008; Restuccia, 2010). Por lo tanto, hay una fuerte necesidad de entender mejor los principios y mecanismos del agente activo así como optimizar su uso con el fin de diseñar elementos de envasado activo que: (i) sean suficientemente efectivos y reduzcan efectos secundarios perjudiciales y (ii) permitan una exacta, a base de conocimiento, evaluación de riesgos potenciales (Gontard, 2008).

## **1.7 IMPACTO EN EL MERCADO**

Los materiales de envasado activo e inteligente y artículos fueron primeramente introducidos en el mercado de Japón a mediados de los 70's pero únicamente a mediados de los 90's captaron la atención de la industria en Europa y en los USA. En este periodo, hubo una proliferación de patentes y pruebas de mercado que crearon grandes expectativas de crecimiento comercial (Gontard, 2008; Restuccia, 2010).

### **1.7.1 MERCADO GLOBAL DEL ENVASE ACTIVO**

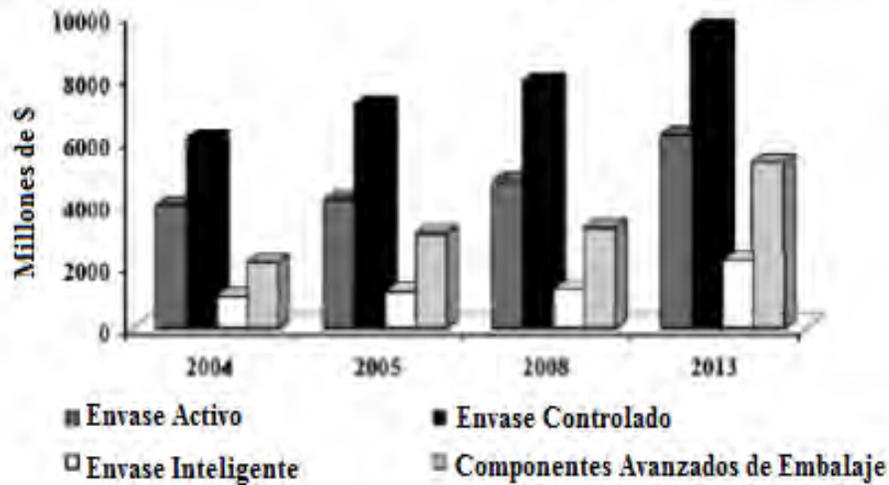
El envase es un componente esencial del mercado que afecta toda la industria virtualmente. Cada producto, incluso alimentos que crecen orgánicamente, necesitan algún tipo de envase durante su existencia para su protección durante la transportación, manipulación, almacenamiento y uso. Esto se traduce en que el 99.8% de todos los artículos de alimentos y bebidas están un tiempo encerrados en algún tipo de envase. Por esta razón, como ya se mencionó la industria de alimentos y bebidas evoluciona continuamente con nuevas tecnologías que potencian la calidad de los productos, prolongan la vida útil, e impactan posiblemente la rentabilidad de un producto mediante el control de residuos y del deterioro (Restuccia, 2010).

El mercado Europeo actualmente tiende a requerir vida de anaquel más corta que el mercado de América del Norte, porque los productos tienden a ser distribuidos sobre distancias más cortas y vendidos más rápidamente. Sin embargo, los consumidores Europeos tiende a ser sensible a las cuestiones de calidad en fresca y alimentos refrigerados (Markarian, 2006).

De acuerdo a la investigación de Restuccia (2010) en la última década, el envase activo e inteligente ha experimentado significativamente un crecimiento como nuevos productos y tecnologías que han cambiado el estatus quo de las formas tradicionales de envasado de alimentos y bebidas.

El mercado global para alimentos y bebidas de envasado activo e inteligente junto con atmósferas controladas/modificadas (CAP/MAP) aumentó de \$15.5 billones en 2005 a \$16.9 billones para finales de 2008 y debería llegar a \$23.6 billones para 2013 con una tasa anual de crecimiento compuesto de 6.9%. El mercado global es desglosado en diferentes aplicaciones tecnológicas de envasado activo, controlado e inteligente; de estos, CAP/MAP tiene la mayor parte del mercado estimado que

comprende 45.4% en 2008, disminuyendo probablemente ligeramente a aproximadamente 40.5% en 2013 en Fig. 1.7.1.



**Fig. 1.7.1. Crecimiento del envase activo, controlado, e inteligente para la industria de alimentos y bebidas 2004-2013 (millones de \$) (Restuccia, 2010)**

El mercado US actual para envase activo, controlado e inteligente para alimentos y bebidas es más de \$54 billones en ventas (Tabla. 1.7.1) que comprende 55-65% del valor de \$130 billones de valor de envase en los Estados Unidos. Del dato reportado es posible subrayar que la necesidad de envase activo, controlado e inteligente ha experimentado crecimiento explosivo en la década pasada en los USA y está listo para aumentar en un AAGR (Average Annual Growth Rate) de 9.7% entre 2003 y 2008. El resto del mundo, que ha estado con frecuencia adelante de los USA en la investigación y desarrollo de nuevos sistemas de envasado activo, controlado e inteligente, continua en la misma posición. El crecimiento será dado por el desarrollo de nuevas generaciones de productos con rendimientos mejorados en más precios competitivos, los cuales estimulan la aceptación del mercado grande para muchos tipos de productos. La mayoría de las tecnologías de envasado activo e inteligente

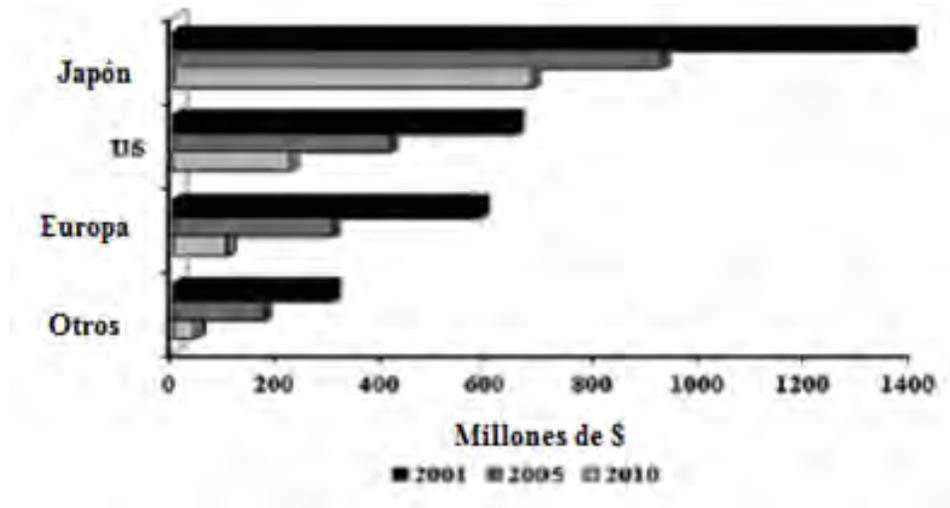
están todavía en nichos especialmente en el amplio sector de envasado de USA debido al costo relativamente alto de muchos tipos de productos.

**Tabla 1.7.1. Ventas de envase de alimentos y bebidas activo, controlado e inteligente de los USA y el resto del mundo hasta 2008 (billones de \$)  
(Restuccia, 2010).**

	2002	2003	2004	2008	AAGR% 2003-2008
US	30.75	34.13	38.13	54.18	9.7
Resto del mundo	41.50	46.90	53.00	80.00	0.3
Total	72.25	81.03	91.13	134.18	0.6

Restuccia (2010) menciona que el envasado activo comprenderá aproximadamente 27% del mercado global en 2008 pero disminuirá ligeramente a 26.9% para 2013. Este segmento tendrá un valor estimado en \$4.6 billones en 2008 y deberá llegar a \$6.4 billones para 2013. Entre diferentes tipologías, la fracción de productos de envasado activo continuará su desarrollo para encontrar algunas aplicaciones comerciales. En el mercado de alimentos y bebidas, el crecimiento de conceptos de envasado activo se está dirigiendo al cada vez mayor uso de alimentos empacados, aumentando la demanda de alimentos ya preparados tales como las comidas de microondas, y aumentando el uso de empaques de tamaños pequeños. El envase activo es usado más fuertemente en Japón, pero el uso en Europa y el Norte de América está comenzando a incrementarse (Fig 1.7.2). Impulsadores de envasado activo incluyen recolectores de oxígeno, controladores de humedad, absorbentes de etileno para ayudar a reducir los patógenos y gases que contribuyen al deterioro del alimento, aunque también los envases bloqueadores de UV comienzan a mostrar tasas de crecimiento relativamente alto. Películas comestibles y revestimientos han contribuido altamente al total. Markarian (2006); Restuccia (2010) coinciden en que en particular el envase recolector de oxígeno, en 2005 fue el segmento más grande,

contando con el 37% del valor del mercado global del envase activo mientras que el segundo segmento más grande a base de un aditivo fue el recolector de humedad, contando como el 16% del valor del mercado.



**Fig. 1.7.2. Mercado Global del envase activo 2001-2010 (Restuccia, 2010)**

De hecho, el valor global del mercado en el año 2005 fue cerca de 1.8 M USA\$, siendo el 40% aún representado por recolectores de oxígeno. La Tabla 1.7.2 muestra el valor del mercado de los principales conceptos de envasado activo en 2001 y 2005, juntos con lo previsto para 2010 (Gontard, 2008; Restuccia, 2010).

Mientras los proveedores de tecnología de envasado activo están centrados en mejorar la tecnología, los propietarios de marcas y convertidores de envasado están centrados sobre los costos percibidos y los beneficios del envasado activo comparado con las alternativas (Markarian, 2006).

**Tabla 1.7.2. Valor del mercado global del envase activo e inteligente (Gontard, 2008)**

<b>Valor del mercado global (millones de \$ US) del envase activo e inteligente</b>				
<b>Tipo de sistema Activo e Inteligente</b>	<b>2001</b>	<b>2005</b>	<b>2010 (Pronóstico)</b>	<b>Parte del mercado (%)</b>
Recolectores de oxígeno	371	660	985	37
Recolectores/Emisores de CO <sub>2</sub>	81	108	156	6
Recolectores de etileno	30	57	100	3
Recolectores de humedad	190	287	405	16
Emisores de etanol	21	37	65	2
Absorbedores de sabor/olor	28	47	70	3
Antioxidantes	3	7	20	0
Auto-ventilación	195	280	550	16
Susceptores laminados	80	165	265	9
Control de temperatura	15	38	100	2
<b>Total</b>	<b>1064</b>	<b>1786</b>	<b>2556</b>	<b>100</b>

## **1.8 ASPECTOS LEGALES**

### **1.8.1 PERSPECTIVA DE USA Y EUROPA**

Los conceptos de normalización de Europa y los Estados Unidos sobre materiales de contacto con alimentos difieren no únicamente en detalle sino en el enfoque fundamental (Lee & Restuccia, 2010).

El enfoque Europeo está basado en la teoría de que todos los materiales deberían ser explícitamente claros y publicados en normas, y que todas las autorizaciones deben estar basadas en una evaluación toxicológica de las sustancias listadas. Los países Europeos regulan las sustancias añadidas a o usadas en el envase por separado de los aditivos alimentarios a diferencia de USA (Restuccia, 2010).

En los Estados Unidos, las sustancias que pueden no ser razonablemente esperadas para convertirse en componentes de alimentos, o que no pueden dar lugar a algún problema público de salud, se borran (o se considera que no requiere una regulación) sobre la base de datos de química analítica y las extrapolaciones que muestran dichos componentes no presentan ningún motivo de interés toxicológico a causa de la exposición alimentaria mínima. En corto, el enfoque de los USA da considerable credibilidad a la idea que “la dosis hace al veneno” así que la justificación toxicológica no es necesaria, o es en gran medida minimizada por evaluaciones de exposición, mientras que el enfoque Europeo comienza del principio que debe haber datos toxicológicos sobre todas las sustancias independientemente del nivel de exposición previa (Restuccia, 2010).

Considerando los requerimientos regulatorios para las nuevas tecnologías de envasado activo e inteligente, debe decirse que en los Estados Unidos no son muy diferentes de los requerimientos para los materiales convencionales de envasado. Los materiales usados en aplicaciones de contacto con alimento o las sustancias contenidas en los materiales de envasado como aditivo alimentario, los cuales están destinados para la migración al alimento, o si ellos de otra manera afectan las características del alimento están sujetos a la obtención de autorización previa para la comercialización por la USA Food and Drug Administration, si son considerados “aditivos alimentarios” bajo la Federal Food, Drug, and Cosmetics Act. (FFDCA) Section 201(s) el cual define como “aditivo alimentario” a una sustancia que es destinada a convertirse en un componente del alimento o que afecta las características del mismo bajo las condiciones destinadas de uso; es irrelevante si el material es diseñado para crear un barrera protectora para/contra fuentes externas de contaminación (Lee & Restuccia, 2010).

Debido a los efectos del envasado activo, las sustancias contenidas en el empaque deberán ser reguladas con un criterio similar a los aditivos alimentarios. De hecho, siempre y cuando el material en el sistema de envasado activo e inteligente no esté destinado a agregar alguna sustancia al alimento ni a tener un efecto técnico en el

alimento (los llamados “aditivos indirectos”) no hay preocupaciones regulatorias especiales para las sustancias que sean usadas en tales sistemas; por lo tanto, están simplemente reguladas como todas las otras sustancias en contacto con alimentos. Al igual que en los aditivos alimentarios, en los dispositivos generales para aditivos indirectos se estipula que la cantidad de aditivo alimentario añadido al alimento, como resultado de su uso en el envasado, no debe exceder aquella necesaria para lograr el efecto técnico pretendido en el producto alimentario (Lee & Restuccia, 2010).

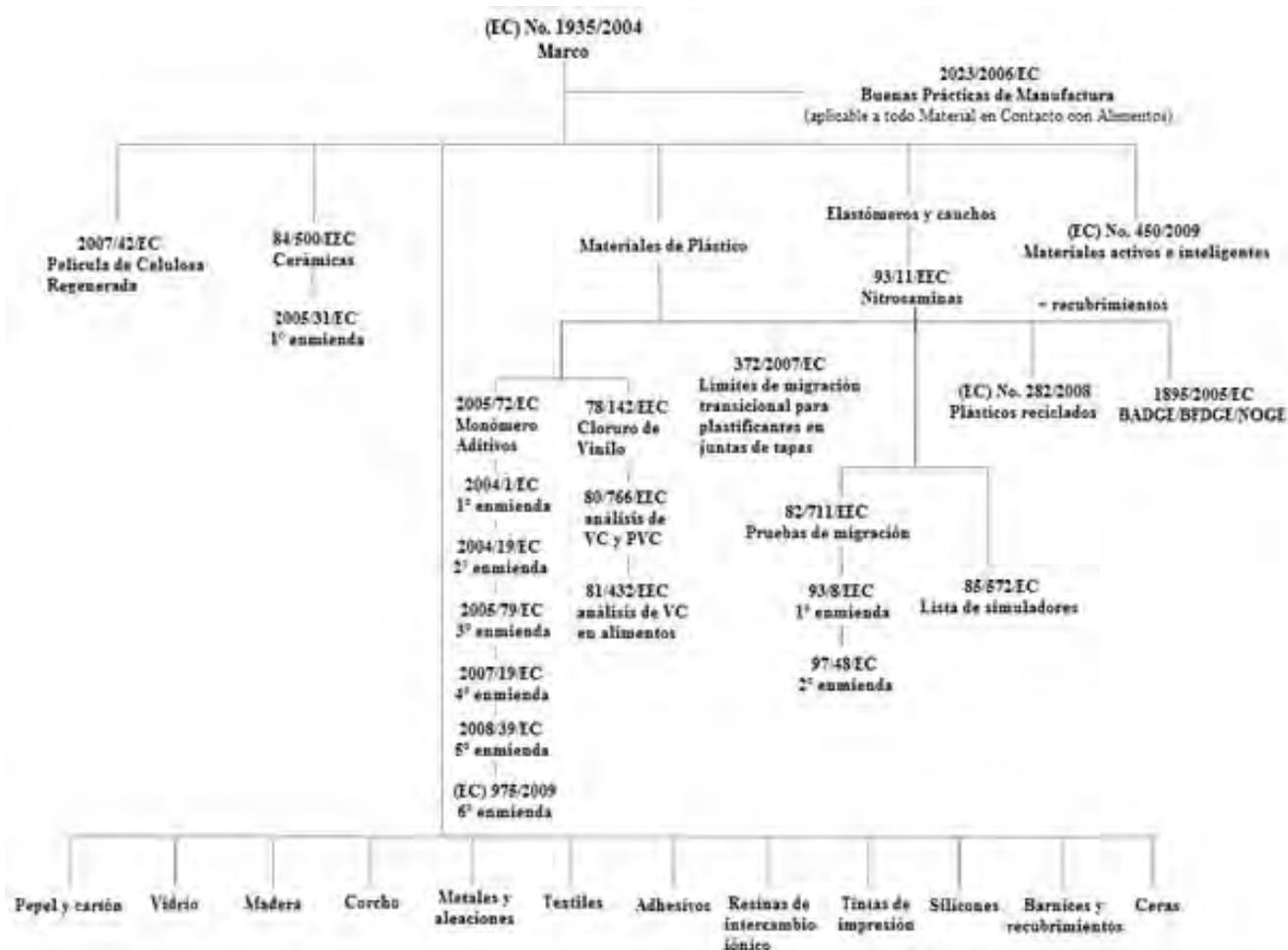
Por el otro lado, si los materiales de envasado activo están agregados directamente al alimento, o tienen un efecto técnico en el alimento, el material constituiría un “aditivo directo” y estaría sujeto a muchos requisitos regulatorios estrictos de la FDA (Restuccia, 2010).

Si bien no hay una regulación específica sobre la existencia del envasado activo en los USA, es importante que los fabricantes tomen en cuenta cualquier migración adicional derivada de la descomposición o impurezas que puedan ocurrir como resultado de la actividad química en el material de envasado durante su almacenamiento y vida útil. Esta información es necesaria antes de poder evaluar si el material en el sistema de envase activo constituye un “aditivo alimentario” (Lee & Restuccia, 2010).

Restuccia (2010) considera que la regulación de dicho material de envasado en Europa está todavía en evolución (Fig. 1.8.1).

Desde hace mucho, la legislación de EU en materiales en contacto con productos alimenticios ha protegido la salud de los consumidores a través de garantizar que los materiales en contacto con productos alimenticios no puedan lograr una reacción química que cambiaría la composición o las propiedades organolépticas de estos productos alimenticios (sabor, apariencia, textura o incluso olor). La regulación de 1935/2004/EC deroga esta legislación con el fin de permitir el envasado para beneficio de las innovaciones tecnológicas. Esto fue necesario en la EU porque todos

los materiales de envasado (incluyendo aquellos que intencionalmente agregan sustancias al alimento) están sujetos a todos los requerimientos para materiales en contacto con alimentos incluyendo los límites de migración general (OMLs) y límites de migración específica (SMLs) (Restuccia, 2010).



**Fig. 1.8.1 Legislación de materiales en contacto con alimento de la EU (Restuccia, 2010)**

El Marco de Regulación (EC) No. 1935/2004 da la definición y las reglas básicas para el envasado activo en la EU. Lineamientos específicamente para la comercialización de los materiales y artículos activos e inteligentes destinados al

contacto con alimentos fueron publicados en Mayo 29 de 2009 (Regulación No. 450/2009) en The Official Journal of the EU y entró en vigor en Junio 18, 2009. Estas disposiciones fueron basadas en los requerimientos generales establecidos en 2004 en el Marco de Regulación (Regulación (EC) No. 1935/2004) para el uso seguro de materiales de envasado activo e inteligente (Lee, 2010).

El enfoque de la EU que establece una nueva clasificación entre el envasado A&I y el resto de los materiales de contacto con el alimento, ha sido mencionado como un intento de razones comerciales y no para llenar una brecha regulatoria. Se declaró que este propósito pudo ser logrado en la forma normal mediante el uso de técnicas de mercadotecnia, tales como etiquetado especial, educación pública, o publicidad (Restuccia, 2010).

**Ver Anexo para conocer más sobre las normas regulatorias aplicables a los sistemas de envasado activo.**

**CAPÍTULO 2.**  
**ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS**  
**TECNOLOGÍAS DE ENVASADO ACTIVO**

## **CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS TECNOLOGÍAS DE ENVASE ACTIVO**

### **2.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL ENVASE ACTIVO**

Las tecnologías de envase activo han comenzado a recibir una gran atención desde la última década (Ozdemir, 2004; Gontard, 2008).

De manera general, el campo del envase activo ha sido extendido en gran medida como una serie de nichos de mercado debido al enfoque actual de las industrias de envasado buscando oportunidades de mercado nuevos. La razón de considerar un rango de opciones de envasado (tanto pasivo como activo) como un todo y como una parte de los itinerarios tecnológicos de alimentos aun no ha sido comúnmente aceptada (Gontard, 2008).

Debido a su interacción deliberada con el alimento y/o su entorno el envasado activo plantea canales nuevos para la evaluación de su seguridad en comparación al envasado tradicional (Gontard, 2008; Restuccia, 2010). Sin embargo, también en estos casos la migración de sustancias del envase al alimento es el principal riesgo. Otro riesgo podría ocurrir en el uso incorrecto del envase debido al etiquetado insuficiente o la operación no eficaz del envase activo. Las regulaciones 1935/2004 y 450/2009/EC contienen disposiciones generales en la seguridad de envasado activo y conjuntan los marcos para la evaluación de la seguridad de procesos de la EFSA (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria) (Markarian, 2006; Restuccia, 2010).

La mayoría de las aplicaciones de envasado activo están concentradas en productos frescos. Aunque los envases pasivos han sido usados para minimizar el crecimiento bacteriano y la tasa de reacciones de deterioro en frutas y vegetales frescos, los envases activos ofrecen nuevas oportunidades en la preservación de productos frescos y prolongar la vida útil (Ozdemir, 2004).

Actualmente, las tecnologías de envasado activo empleadas están principalmente basadas en tecnologías de “sobre”, a pesar de que se ha visto que esta presentación tiene insuficiente aceptación por parte del consumidor debido a temores de ingestión por niños y el consumo accidental con el contenido del empaque. La mejor manera de evitar esta actitud negativa del consumidor hacia las nuevas técnicas de envasado podría ser mediante la incorporación de absorbedores y/o emisores en películas o en etiquetas (Ahvenaine, 1997; Galic, 2001; Ozdemir, 2004). Debido a lo anterior se espera que el desarrollo de los sistemas de envasado activo en forma de películas delgadas y etiquetas aumente en la siguiente década (Ozdemir, 2004).

Muchas publicaciones científicas y revisiones han sido recientemente dedicadas a la investigación en tecnologías de envasado activo (Gontard, 2008). El reconocimiento de los beneficios de las tecnologías de envasado activo para la industria de alimentos, el desarrollo de sistemas de envasado activo viables económicamente, y el aumentar la aceptación del consumidor abre nuevas fronteras para el envasado activo (Ozdemir, 2004; Kerry, 2006).

## **2.2 SISTEMAS DE ENVASE ACTIVO QUE EMPLEADOS EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y FUNDAMENTO DE ESTOS.**

### **2.2.1 TECNOLOGÍA RECOLECTORA DE O<sub>2</sub>**

El oxígeno puede causar malos sabores (por ejemplo, rancidez como resultado de la oxidación lipídica), cambio de color (por ejemplo, la decoloración de pigmentos de plantas tales como la clorofila y los carotenoides, la oxidación de la carne) y pérdida de nutrientes (por ejemplo, la oxidación de vitamina A,  $\beta$ -caroteno (pro-vitamina A), ácido ascórbico (vitamina C)). El oxígeno puede también facilitar el crecimiento microbiano (por ejemplo, bacterias aerobias) y de hongos, desarrollo de insectos, y

tiene un efecto considerable en la velocidad de respiración y la producción de etileno de los productos alimenticios que respiran tales como frutas y vegetales. De esta forma el oxígeno presente en los alimentos envasados es perjudicial para el color del producto, el sabor y los nutrientes acelerando la descomposición y el deterioro de muchos alimentos. Por lo tanto, es muy importante mantener óptimo el contenido de oxígeno en la atmósfera interna del envase para proteger al alimento del deterioro (Devlieghere, 1999; De Kruijf & Foltynowicz, 2002; Suppakul, 2003; López-Rubio & Ozdemir, 2004; Kerry & Markarian, 2006; Coma, 2008; Whiteside, 2011).

De acuerdo con Smith (1990); Ahvenainen (1997); De Kruijf (2002); López-Rubio & Devlieghere (2004); Kerry, Markarian & Charles (2006); Coma (2008); Whiteside (2011) este oxígeno puede derivar de:

- Una elevada permeabilidad al oxígeno del material del envase.
- Aire retenido en el alimento o en el material del envase.
- Pequeñas filtraciones debidas a un sellado no eficaz.
- Una evacuación inadecuada y/o inyección de gas.
- Flujos de gas.

Aunque los alimentos sensibles a  $O_2$  pueden ser convenientemente empacados usando materiales de alta barrera junto con envasado al vacío o atmósfera modificada, estas tecnologías no pueden eliminar completamente el oxígeno dentro del empaque. Por otra parte, el oxígeno que se permea a través del envase o el que es atrapado en el alimento no puede ser removido por estas técnicas (Devlieghere, 1999; Foltynowicz, 2002; Paseiro-Losada, 2003; López-Rubio, 2004; Miltz, 2005; Kerry & Markarian, 2006; Coma, 2008; Lee, 2010; Whiteside, 2011). La única solución para este problema es tener influencia directa sobre las condiciones de vida de un producto alimentario. Diferentes estudios han mostrado que el principal factor que debe ser controlado para asegurar la calidad del alimento empacado es la concentración de oxígeno en el interior del envase (Foltynowicz, 2002). Por esta

razón, más recientemente, las tecnologías tradicionales de envasado están siendo complementadas con sistemas recolectores de oxígeno que eliminan el oxígeno residual que queda después del envasado (López-Rubio, 2004; Kerry, 2006; Coma, 2008).

Un recolector de oxígeno es una sustancia que absorbe eficazmente este gas del medio en el que se encuentra reduciendo su concentración a niveles muy bajos (típicamente a <0.01%). Su aplicación elimina el oxígeno que está en contacto con el alimento después del envasado permitiendo que los cambios en la calidad de los alimentos sensibles al O<sub>2</sub> a menudo puedan ser reducidos al mínimo (Smith, 1990; Ohlsson, 1994; Ahvenainen, 1997; Isdell & Devlieghere, 1999; Han, 2000; Suppakul, 2003; Devlieghere, 2004; Mills, Kerry, Markarian & Charles, 2006; Lee, 2010).

Los recolectores de oxígeno son una parte de los “envases activos” ya que ellos realizan una función continua durante la vida de almacenamiento del producto. Este rol activo continuo es una de las propiedades atractivas de los recolectores de oxígeno que asegura la protección extendida permitiendo al mismo tiempo el uso de estructuras de envasado viables comercialmente (Foltynowicz, 2002).

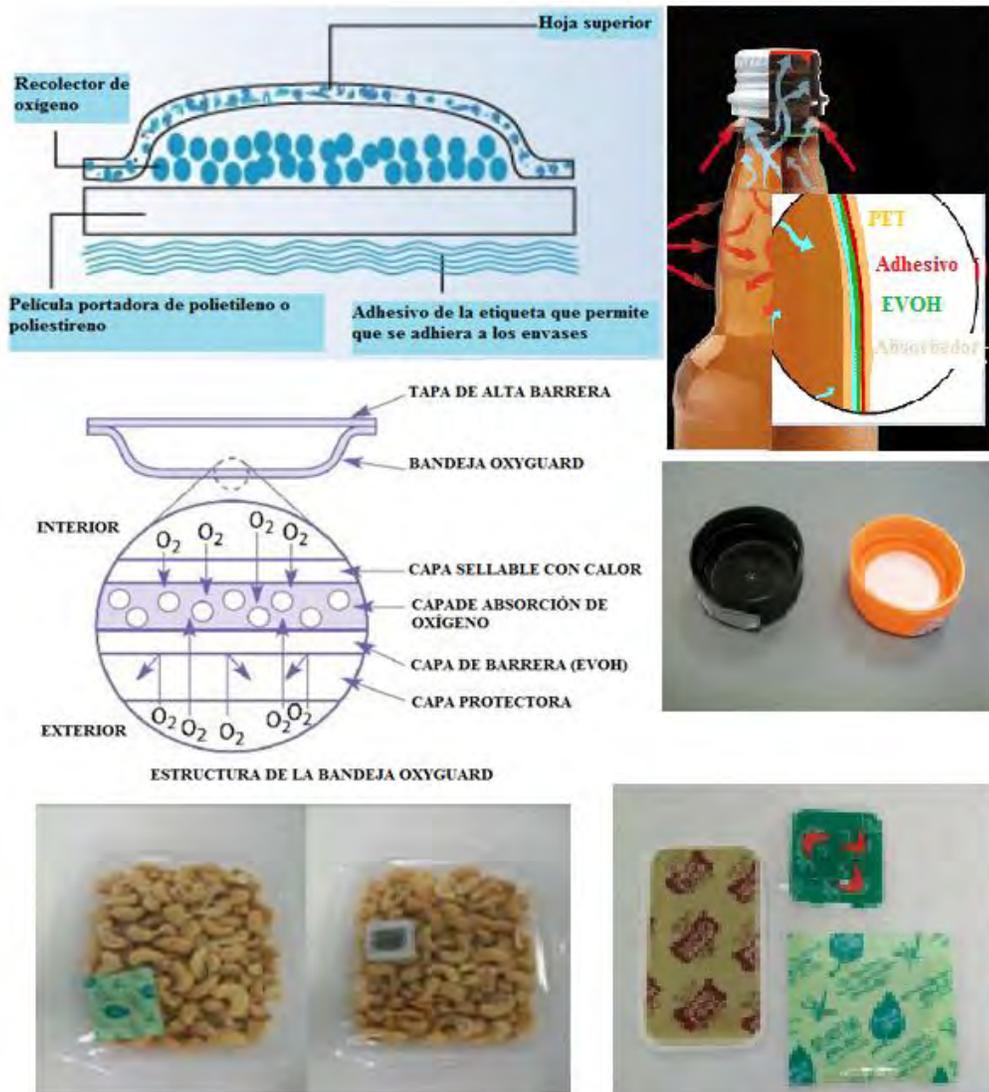
En base a la investigación de Devlieghere (1999); De Kruijf (2002); Suppakul & Paseiro-Losada (2003); López-Rubio (2004); Kerry & Charles (2006); Day & Gontard (2008); Lee (2010); Whiteside (2011) se puede considerar que en general, los recolectores de oxígeno se basan en uno o varios de los siguientes mecanismos:

- Poder oxidante del hierro.
- Catecol
- Oxidación del ácido ascórbico y sus análogos
- $\alpha$ -tocoferol
- Hidrocarburos insaturados
- Poliamidas
- Algunos nylons
- Ligantes

- Oxidación fotosensitiva (tintes fotosensibles)
- Oxidación enzimática (glucosa oxidasa/catalasa y etanol oxidasa)
- Sales ferrosas
- Ácidos grasos insaturados (ácido oleico, ácido linoleico y ácido linolénico)
- Extracto de arroz
- Levadura inmovilizada en material sólido
- Combinación de estos.

El desarrollo de sistemas recolectores de oxígeno fue primero basado en etiquetas autoadhesivas, otros dispositivos que son adheridos a la pared interna del empaque, o en sobres sueltos para ser incluidos en el envase con el alimento, los cuales contienen componentes que absorben oxígeno. Un segundo concepto, desarrollado después, fue basado en el diseño de sustancias activas para ser incluidos en el mismo material de envasado, usando monocapas o materiales multicapa o revestimientos de cierre reactivo para tapas de botellas, frascos, en películas y bandejas (Han, 2000; De Kruijf, 2002; Paseiro-Losada & Suppakul, 2003; López-Rubio & Ozdemir, 2004; Kerry & Markarian, 2006; Day & Gontard, 2008; Whiteside, 2011) (ver Fig. 2.2.1.1). La incorporación de la sustancia recolectora a través de estos dispositivos es por contención, por disolución o dispersión en el material de envasado de plástico, incorporado en el material de envasado, introducido en varias capas del empaque o por inmovilización de enzimas (De Kruijf, 2002; López-Rubio & Ozdemir, 2004; Charles & Kerry, 2006; Lee, 2010).

Todos los sistemas activos están basados ya sea en el uso de aceptores de radicales, interceptores de oxígeno, agentes reductores o absorbedores de oxígeno que reacciona inmediatamente con el compuesto para reducir sus concentraciones (López-Rubio, 2004; Lee, 2010).

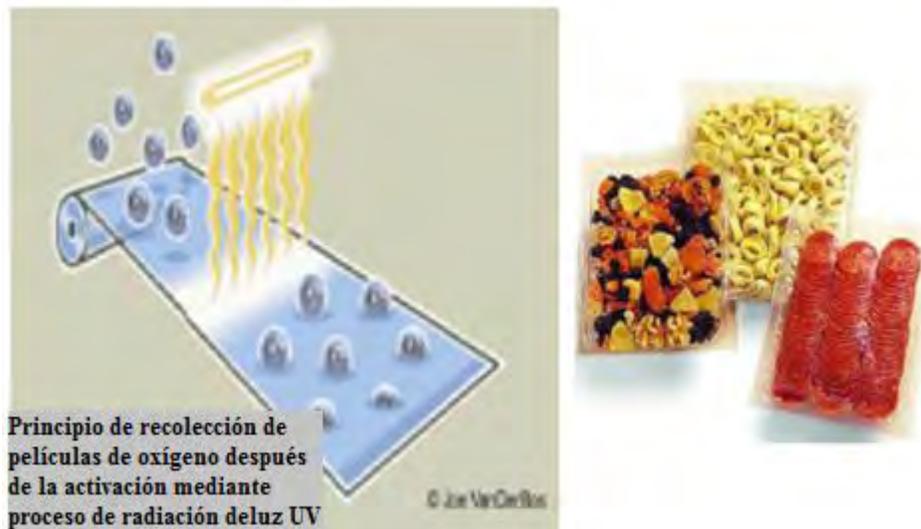


**Fig. 2.2.1.1. Algunas presentaciones de los sistemas de recolección de O<sub>2</sub> (Galet, 2009; Yezza, 2008)**

De Kruijf (2002); López-Rubio (2004) coinciden en que ya que el oxígeno está en todas partes, los recolectores deben ser protegidos de la actividad prematura (esto es, mantener bajo vacío o en condiciones anaerobias), o preferentemente, las películas recolectoras de oxígeno deben ser estables al aire antes de su uso. De acuerdo con De Kruijf (2002); López-Rubio (2004); Whiteside (2011) estos sistemas de envasado deberán tener idealmente algún tipo de mecanismo de activación para

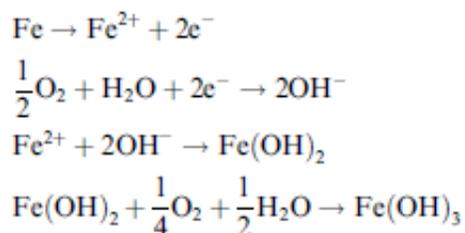
controlar la iniciación de la actividad recolectora, excepto en aquellos casos cuando el empaque es preparado de todos los constituyentes inmediatamente antes del llenado. Algunos mecanismos de activación son:

- Adición de un reactivo en el llenado del envase (De Kruijf, 2002)
- El uso de un tinte fotosensible que es impregnado sobre una película polimérica. Cuando la película es irradiada con luz ultravioleta (UV), el tinte activa el  $O_2$  a su estado singlete, haciendo la reacción de eliminación de oxígeno mucho más rápida debido a su alta reactividad (Fukuzawa, 1997; De Kruijf, 2002; Suppakul, 2003; López-Rubio, 2004; Miltz, 2005; Markarian, 2006; Coma, 2008; Lee, 2010; Whiteside, 2011) (Fig. 2.2.1.2).
- La humedad elevada (a través de agua contenida en el material del dispositivo que contiene la sustancia activa o mediante la humedad del producto) puede activar la reacción de recolección de algunos concentrados plásticos que absorben el oxígeno (De Kruijf, 2002; López-Rubio, 2004; Miltz, 2005; Markarian, 2006; Coma, 2008).



**Fig. 2.2.1.2 Esquema de acción de recolectores de oxígeno con mecanismo de activación de tinte fotosensible (Yezza, 2008)**

Smith (1990); Isdell & Devlieghere (1999); Suppakul, 2003; Ozdemir (2004); Miltz (2005); Kerry & Charles (2006); Day, Coma & Gontard (2008); Whiteside (2011) mencionan que la mayoría de los recolectores de oxígeno disponibles comercialmente contienen hierro u óxido de hierro (II) como el absorbedor de oxígeno reaccionando con el oxígeno residual a óxido de hierro no tóxico, siendo comercializados en forma de sobre. El material del sobre es altamente permeable al oxígeno y, en algunos casos, al vapor de agua. Algunos requieren agua, suministrada por el alimento. Estos sistemas químicos reaccionan con el agua para producir un agente reductor metálico hidratado que recolecta oxígeno en el empaque alimenticio y lo convierte irreversiblemente a un óxido estable. Smith (1990); Devlieghere (1999); Charles & Kerry (2006) coinciden en que la reacción que se lleva a cabo en los sistemas recolectores es mostrada en la ecuación teórica general siguiente, aplicable a temperaturas ambiente y de enfriamiento:



Teóricamente, 1 g de hierro es capaz de absorber 300 cc de oxígeno. En las aplicaciones actuales, este valor puede ser significativamente más bajo. Se afirmó que 1 g de hierro requiere 0.5 g de agua para su acción. Los sobres vienen en diferentes tamaños y están normalmente diseñados para un número que representa el volumen (cc) de oxígeno que puede absorber (Devlieghere, 1999; Miltz, 2005).

La principal ventaja de estos sobres que recolectan es que ellos pueden reducir los niveles de oxígeno a menos de 0.01%, que es significativamente más bajo que los niveles de oxígeno residual logrados por el envasado en atmósfera modificada (0.3-3%) y que ellos tienen una capacidad y una velocidad de absorción más alta de oxígeno que otros sistemas que recolectan oxígeno (películas plásticas, etiquetas o bandejas laminadas) (Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002; Day & Coma, 2008; Lee,

2010). Sin embargo los sobres que contienen hierro pueden interferir con el sistema de detección de metales usado para prevenir la contaminación por metales en alimentos y al manejarse sales ferrosas que reaccionan con el oxígeno para formar óxido de hierro, bajo determinadas condiciones de humedad en ocasiones estos compuestos confieren un sabor metálico al alimento (Ahvenaine, 1997; Markarian, 2006; Day, 2008; Lee, 2010). También presentan la desventaja de que estos sistemas de recolección a base de hierro no pueden ser usados en productos líquidos (Ozdemir, 2004; Day, 2008; Lee, 2010; Whiteside, 2011). Otra problema que tiene su aplicación a productos alimenticios es que muchos consumidores tienen una visión negativa del término “a base de hierro” (Whiteside, 2011).

Whiteside (2011); Restuccia, Lee (2010); Day (2008); López-Rubio, Ozdemir (2004); Smith (1990); Devlieghere (1999); Ahvenainen (1997) mencionan que las desventajas del uso de la tecnología de sobre son:

- No son apropiados para alimentos líquidos o con  $a_w$  alto, ya que pierden su capacidad de recolección de oxígeno rápidamente. Esto se debe a que el contacto directo del líquido con el sobre usualmente causa el derrame del contenido del sobre
- Posibilidad de ingestión accidental del consumidor o mal uso de estos.
- Requiere operaciones de envasado adicionales para insertar el sobre en cada empaque.
- Preocupación sobre la filtración y la contaminación del producto.

Una alternativa a los sobres es la incorporación de recolectores de  $O_2$  en la estructura del propio envase (bandejas o películas) o en etiquetas adhesivas (que pueden ser añadidas al interior de los empaques). Esto minimiza las respuestas negativas, mejorando su aceptación, y ofrece una ventaja económica potencial a través del aumento de producción. También elimina el riesgo de ruptura accidental de los sobres y el consumo inadvertido de su contenido (Devlieghere, 1999;

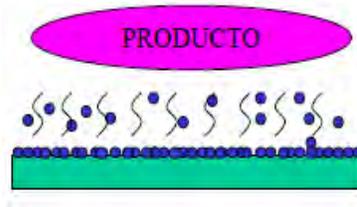
Suppakul, 2003; López-Rubio & Ozdemir, 2004; Kerry & Markarian, 2006; Day, 2008; Lee, 2010; Whiteside, 2011).



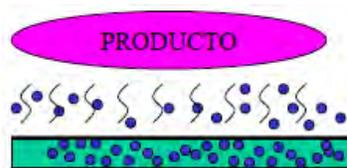
**Fig. 2.2.1.3 Esquema de un sistema ideal que recolecta oxígeno (López-Rubio, 2004)**

En los recolectores en forma de películas los ingredientes de bajo peso molecular pueden ser disueltos o dispersos en un plástico o el plástico se puede hacer de un recolector polimérico (Devlieghere, 1999) (ver Fig. 2.2.1.4). Este sistema permite la absorción de oxígeno de todas las superficies del alimento que están en contacto con la películas (Ozdemir, 2004).

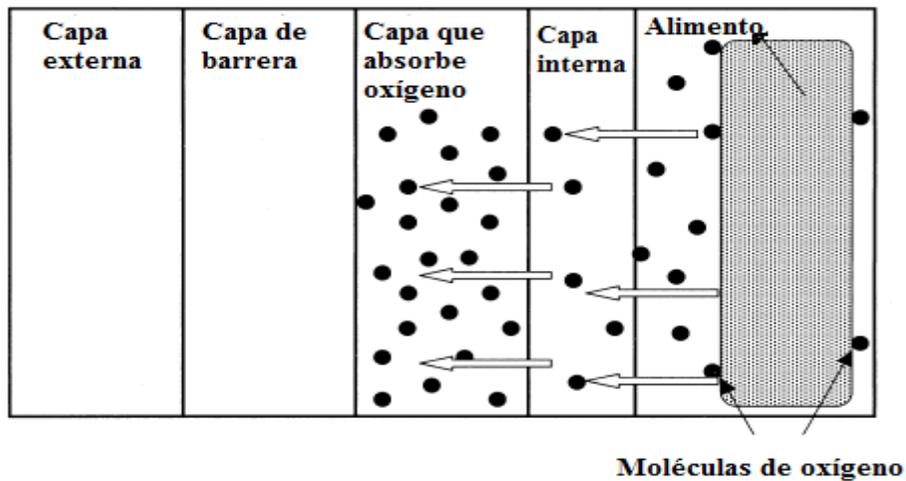
Tratamientos superficiales: inmersión o dispersión



Tratamientos incorporados directamente a la película: composición



**Fig. 2.2.1.4. Tratamientos que se emplean para la elaboración de sistemas recolectores (García, 2009).**



**Fig. 2.2.1.5. Estructura de una típica película activa multicapa que absorbe oxígeno (Ozdemir, 2004).**

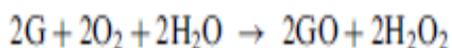
El ácido ascórbico es otro componente de barrido de  $O_2$  que se puede utilizar, se basa en la oxidación de ascorbato a ácido dehidroascórbico y sulfito a sulfato. Un metal de transición, preferentemente cobre, es usado para catalizar la reacción de oxidación (Devlieghere, 1999; Suppakul, 2003; López-Rubio, 2004).

Los hidrocarburos insaturados-etilénicos, tales como escualeno, ácidos grasos, o polibutadieno, tienen la capacidad de recolección de oxígeno. Estos hidrocarburos insaturados, después de ser funcionalmente terminados con un grupo químico para hacerlos compatibles con los materiales de envasado para ser añadidos a termoplásticos. El principal problema de esta tecnología es que durante la reacción entre estas moléculas poliinsaturadas y el oxígeno, los subproductos tales como ácidos orgánicos, aldehídos y cetonas pueden ser generados que afectan la calidad sensorial del alimento. Por supuesto, algunos de estos compuestos son usados para determinar la calidad y vida de anaquel de productos alimenticios grasos ya que ellos están relacionados intrínsecamente a la rancidez. Este problema puede ser minimizado mediante el uso de barreras funcionales que impidan la migración de productos de oxidación indeseables o mediante el uso de materiales absorbedores (López-Rubio, 2004).

Los sulfitos han sido usados como sustancias activas. El sulfato de potasio es un recolector de  $O_2$  que puede tener suficiente estabilidad térmica para pasar sin cambios a través de procesos termoplásticos. Sin embargo, cualquier recolector de oxígeno que produzca un compuesto como producto final tal como el dióxido de azufre es visto con preocupación ya que estos subproductos pueden ejercer un cambio sensorial, o incluso un efecto alérgico sobre un consumidor susceptible (López-Rubio, 2004).

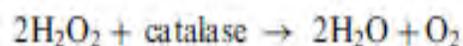
Los recolectores de oxígeno a base de reacciones enzimáticas utilizan un reactor enzimático de superficie que reaccionaría con algún sustrato para recolectar el  $O_2$  entrante mediante una reacción catalítica (Devlieghere, 1999; Ozdemir, 2004; Lee, 2010). La glucosa oxidasa, es una oxidoreductasa que transfiere dos hidrógenos del

grupo –CHOH de la glucosa al O<sub>2</sub> con la formación de glucono-delta-lactona y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. La lactona luego espontáneamente reacciona con el agua a la forma de ácido glucónico (Devlieghere; 1999). Un sistema de recolección de oxígeno muy estudiado ha sido a base de inmovilización de glucosa oxidasa/catalasa (López-Rubio, 2004; Lee, 2010). En base a la investigación de Devlieghere (1999); López-Rubio (2004) la reacción que tiene lugar es la siguiente:



Donde G es el sustrato

Ya que el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> es un objetable producto final, la catalasa es introducida para descomponer al peróxido:



Aunque el alimento puede llegar a ser oxidado.

Estas enzimas son incorporadas en el material plástico, pueden ser puestas en un sobre independiente o pueden ser inmovilizadas como recubrimientos sobre sustratos tales como poliestireno, polietileno, polipropileno o vinilo (Devlieghere, 1999; López-Rubio, 2004). Cuando la enzima es inmovilizada, la superficie que soporta el principio activo debe estar en contacto directo con el alimento para activar la reacción redox, lo que limita su aplicación. Debido a que la recolección de oxígeno ocurre en la interfase producto-envase, tienen lugar dos consecuencias: hay un consumo de componente alimenticio (glucosa) y la presencia de productos intermedios o finales de la reacción pueden promover cambios indeseables (López-Rubio, 2004).

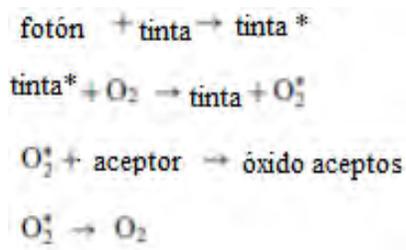
Los sistemas enzimáticos acoplados son muy sensibles a los cambios en pH, a<sub>w</sub>, contenido de sal, temperatura, presencia de solventes/sustratos, entre varios otros factores, esto limita su uso extendido (Devlieghere, 1999; Ozdemir, 2004).

Adicionalmente requieren la adición de agua y, por lo tanto, no pueden usarse efectivamente para productos alimenticios bajos en agua (Devlieghere, 1999).

Además de la glucosa oxidasa, otras enzimas que tienen potencial para la recolección de  $O_2$ , incluyendo etanol oxidasa que oxida el etanol a acetaldehído (Devlieghere, 1999). El sistema etanol oxidasa/catalasa produce  $H_2O_2$  como un producto intermedio también, y acetaldehído como producto final, el cual puede llevar a un sabor a “yogurt” (López-Rubio, 2004).

Los sistemas enzimáticos de recolección de oxígeno son más costosos que los sistemas a base de hierro, debido a que el costo de las enzimas usadas para la recolección de oxígeno es mayor (Ozdemir, 2004).

Devlieghere (1999) menciona otra técnica de recolección de  $O_2$  que implica el sellado de una bobina pequeña de una película de celulosa etílica que contiene un tinte fotosensible disuelto y un recolector de  $O_2$  singlete en el espacio de cabeza de un envase transparente. Debido a la iluminación de la película con luz de longitud de onda adecuada, excitando las moléculas del colorante sensibilizando a las moléculas de  $O_2$ , las cuales se han difundido en el polímero, en el estado singlete. Estas moléculas de  $O_2$  singlete reaccionan con las moléculas del aceptor y son de tal modo consumidos. De acuerdo a la investigación de Devlieghere (1999) el proceso fotoquímico que participa pueden ser presentado de la siguiente manera:

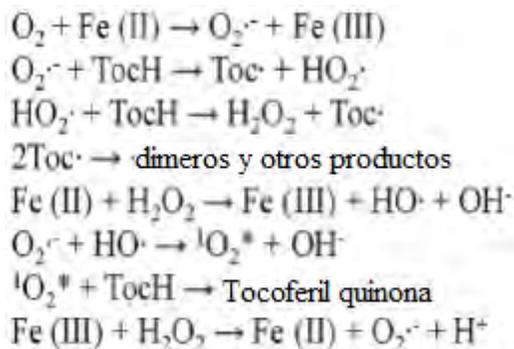


Los antioxidantes incorporados en materiales de envasado plásticos termoformables y flexibles, son destinados a reducir el paso de oxígeno a través de la estructura

plástica o para remover el oxígeno de empaques que contienen productos alimenticios secos como cereales de desayuno (López-Rubio, 2004).

Los sistemas de recolección de oxígeno que utilizan los compuestos naturales como la base para el recolector de oxígeno pueden proporcionar beneficios añadidos (Whiteside, 2011). Uno de tales componentes potenciales es el  $\alpha$ -tocoferol (Vitamina E) que es un recolector natural de radicales libres con una percepción del consumidor positiva pero también reacciona como un efectivo recolector de oxígeno mediante temple físico y reacciones químicas (Fukuzawa, 1997; López-Rubio, 2004; Whiteside, 2011). También es incorporado en los materiales poliméricos como un estabilizador y como un antioxidante en envases de liberación controlada para reducir la oxidación de productos alimenticios (Whiteside, 2011).

Los radicales libres de oxígeno pueden ser producidos por un metal de transición. Los radicales libres de oxígeno son derivados de las reacciones no enzimáticas del oxígeno a lo largo con los metales de transición. El metal de transición activa el oxígeno de estado de electrón singlete. Luego, este oxígeno activado se somete a reducción subsecuente a especies de oxígeno reactivo, el cual es un radical de oxígeno libre. El  $\alpha$ -Tocoferol es un fuerte recolector de radicales libres. Puede también reaccionar irreversiblemente con oxígeno singlete y produce tocoferol hidropoxidienona, tocoferiquinona, y quinina epóxido. El  $\alpha$ -tocoferol puede donar sus electrones para recolectar el radical libre del oxígeno. Cuando el radical libre gana el electrón del  $\alpha$ -tocoferol, retorna a su estado fundamental y el radical libre es eliminado. Por lo tanto, el contenido de oxígeno en el espacio de cabeza será reducido por estas reacciones químicas sucesivas (Whiteside, 2011). De acuerdo a la investigación de Whiteside (2011) la reacción de recolección de oxígeno es:



Existen dos pasos de la reacción química en esta reacción de recolección de oxígeno. En el primer paso, los radicales de oxígeno libre son producidos en presencia de un metal de transición. En el segundo paso, los radicales libres de oxígeno son eliminados mediante la recepción de electrones del  $\alpha$ -tocoferol. Por lo tanto, la presencia de tanto el metal de transición como de  $\alpha$ -tocoferol son condiciones esenciales para el sistema que recolecta oxígeno. Además, el proceso térmico puede acelerar la reacción que recolecta oxígeno. En la investigación de Whiteside (2011) se menciona un resumen de la reacción de recolección de oxígeno que es:

### **Paso inicial**

**Oxígeno + Metal de transición**

**Tratamiento térmico**  
 $\xrightarrow{\hspace{1.5cm}}$  **Radical Libre de Oxígeno**

### **Paso de recolección**

**$\alpha$ -tocoferol + Radical Libre de Oxígeno**  
 $\xrightarrow{\hspace{1.5cm}}$  **Regulador o Tocoferil quinona**

Por otro lado el ácido ascórbico (Vitamina C) y las sales de ascorbato están siendo usados en el diseño de recolectores tanto en tecnologías de sobre como en películas. La película activa puede contener un catalizador, comunmente un metal de

transición (Cu, Co), y es activado por agua. Por lo tanto está especialmente destinado a alimentos líquidos o cuando el producto envasado es esterilizado ya que el vapor de agua dentro de la autoclave es capaz de activar el proceso de recolección (López-Rubio, 2004).

Al elaborar un sistema de recolección de oxígeno el tipo y la cantidad de absorbente que necesita ser usado es determinado por el nivel de oxígeno inicial en el empaque, la cantidad de oxígeno disuelto presente en el alimento, la permeabilidad del material del empaque, la naturaleza (tamaño, forma, peso, etc.) y la actividad del agua del alimento (Ozdemir, 2004).

Miltz (2005); Charles (2006) mencionan que la información técnica proporcionada por los fabricantes de sistemas recolectores de oxígeno es muy limitada. Generalmente incluye:

1. La capacidad nominal del recolector, que representa el volumen mínimo (asegurado por el fabricante) de oxígeno que este recolector es capaz de absorber.
2. Los resultados de algunos estudios mostrando cómo los recolectores han extendido la vida de anaquel de varios productos específicos.
3. El tiempo requerido para la reducción de la concentración de oxígeno en el empaque a un cierto nivel.

Generalmente, la capacidad de la mayoría de los recolectores de oxígeno tradicionales podrían ser tan baja como 1 ml O<sub>2</sub>/g y con una tasa de recolección de 0.1 ml O<sub>2</sub>/g al día (Whiteside, 2011).

De acuerdo a la literatura y a los fabricantes, la absorción de oxígeno mejora con el incremento en la humedad relativa (RH) y depende también de la temperatura (Miltz, 2005).

Actualmente los recolectores de oxígeno pueden también trabajar en condiciones de almacenamiento en congelación y refrigeración. También pueden ser usados incluso con productos alimenticios para microondas (Ozdemir, 2004).

Tanto las tecnologías pasivas como activas se necesitan para minimizar el oxígeno en un empaque para mantener la frescura y aumentar la vida útil del producto (Markarian, 2006; Lee, 2010).

En base a las investigaciones de Smith (1990); Ahvenainen (1997); Devlieghere (1999); Han (2000); Lee (2010); Suppakul (2003); Ozdemir (2004); Markarian, 2006; Coma (2008) se considera que las principales ventajas de la aplicación de los recolectores de oxígeno son:

- En comparación del envasado en atmósfera modificada y envasado al vacío la inversión es sustancialmente más baja.
- Mediante estos sistemas de envasado es posible reducir la concentración de oxígeno a un nivel ultra bajo, que es imposible en líneas comerciales de envasado con gas. Incluso el uso de los recolectores de oxígeno es más rápido que los sistemas de vacío e inyección de gas.
- Son de uso simple y seguro
- No son tóxicos
- Evita el uso de aditivos químicos o conservadores
- Control de la alteración de grasas y aceites
- Eliminación de coloraciones anómalas
- Control de mohos
- Control de bacterias aerobias
- Control de infestación de insectos reemplazando los pesticidas químicos
- Preservación del sabor y características propias del producto.
- Preservación de nutrientes sensibles al oxígeno.
- Extensión de la vida útil
- Elimina la necesidad de medios químicos de control

Smith (1990); Devlieghere (1999); López-Rubio (2004); Restuccia, 2010 consideran que las principales desventajas del uso de estos sistemas son:

- Riesgo de crecimiento bacteriano anaerobio patógeno como *C. botulinum* al aplicarse estos sistemas.
- Un flujo libre de aire circulante es necesario para asegurar la eficiencia máxima de recolección.
- Ellos pueden causar el colapso del empaque.

### **2.2.2 SISTEMAS EMISORES DE CO<sub>2</sub>**

Para muchos productos alimenticios, la presencia de dióxido de carbono en el empaque puede tener efectos benéficos (Ozdemir, 2004). Las presiones parciales de CO<sub>2</sub> por encima de 0.1 atm reducen la tasa de respiración de productos frescos e inclusive altos niveles de CO<sub>2</sub> (60-80%) tiene un efecto bacteriostático sobre ciertos microorganismos (bacterias aerobias y hongos) inhibiendo el crecimiento microbiano sobre la superficie del producto; esto se logra mediante la extensión de la fase lag y la disminución de la tasa de crecimiento durante la fase de crecimiento logarítmico, y por lo tanto aumentan la vida útil del producto (Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002; Suppakul, 2003; López-Rubio & Ozdemir, 2004; Kerry, 2006; Coma, 2008; Lee, 2010). Este efecto bacteriostático es influido por la edad y el rango de la población inicial bacteriana, la temperatura de almacenamiento y la concentración de oxígeno. La inhibición no es igual para todos los tipos de bacteria (De Kruijf, 2002).

Ya que la permeabilidad del CO<sub>2</sub> es 3 a 5 veces más alta que el del O<sub>2</sub> en la mayoría de las películas plásticas, debe ser continuamente producido para mantener la concentración deseada en el empaque (Kerry, 2006; Ozdemir, 2004; Suppakul, 2003).

Básicamente, estos emisores contienen bicarbonato de sodio como principio activo, el cual es activado por humedad. Producen este gas de manera continua y así mantienen en el interior del paquete la concentración necesaria para inhibir la proliferación de microorganismos. Pueden ser incorporados en la forma de sobres y almohadillas absorbentes (Lee, 2010; Coma, 2008; López-Rubio, 2004; Devlieghere, 1999).



**Fig. 2.2.2.1 Sistemas emisores de CO<sub>2</sub> en forma de sobre que se encuentran en el mercado (Yezza, 2008)**

Por otro lado, los emisores de dióxido de carbono son útiles en envasado con atmósfera modificada, porque el dióxido de carbono suprime la bacteria que causa el deterioro en productos envasados con este tipo de sistema (Markarian, 2006).

#### **Principales desventajas del uso de emisores de CO<sub>2</sub>**

- Su utilización se limita a determinados alimentos como algunas carnes frescas, pescados y quesos. Esto se debe a que cantidades elevadas de CO<sub>2</sub> pueden tener efectos adversos en los productos (metabolismo anaerobio indeseable, reducción de pH, cambios de color y de sabor) o daño al empaque (Suppakul, 2003; López-Rubio, 2004).
- Para la completa inhibición de los microorganismos objetivo en alimentos se recomienda un tratamiento combinado que involucra la recolección de O<sub>2</sub> con

procesamiento térmico, o almacenamiento bajo refrigeración, o usando una atmósfera enriquecida con CO<sub>2</sub> (Suppakul, 2003).

- La inhibición de bacterias de descomposición utilizando la tecnología de envases activos puede reducir la competencia bacteriana y permitir así el crecimiento y la producción de la toxina de *Clostridium botulinum* no proteolítica o el crecimiento de otras bacterias patógenas (Kerry, 2006; Coma, 2008).

### **2.2.3 SISTEMAS RECOLECTORES DE CO<sub>2</sub>**

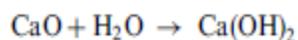
La concentración de CO<sub>2</sub> dentro del empaque aumenta en algunos alimentos debido a las reacciones de deterioro o a la respiración (Devlieghere, 1999; López-Rubio, 2004). Aunque el CO<sub>2</sub> a menudo ejerce un efecto inhibitorio microbiológico en productos tales como carne, queso, y productos de panadería, el exceso de CO<sub>2</sub> puede afectar adversamente al producto. En general, la permeabilidad de los empaques de plástico (incluso que de los empaques más permeables) es muy bajo para evacuar el exceso de CO<sub>2</sub> producido por algunos productos. Así, una posible solución para aquel problema podría ser el diseño de tecnologías de envasado capaces de absorber el exceso de CO<sub>2</sub> que podría afectar la calidad de ciertos productos o podrían fomentar la destrucción del empaque (López-Rubio, 2004).

Los recolectores de dióxido de carbono son usados comercialmente para suprimir el deterioro del alimento, remover malos olores en productos frescos refrigerados tales como el queso que emite dióxido de carbono, y para evitar la acumulación de presión de este gas dentro del envasado rígido o la expansión de volumen en envases flexibles en alimentos tostados o fermentados para evitar la destrucción del empaque (Devlieghere, 1999; Markarian & Charles, 2006; Day, 2008).

Los recolectores de CO<sub>2</sub> pueden estar compuestos ya sea de un absorbente físico (zeolita o carbón activado en polvo) o de un absorbente químico (hidróxido de calcio, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Mg(OH)<sub>2</sub>, etc.) (Charles, 2006; Coma, 2008).

Algunos sistemas de recolección de CO<sub>2</sub> en sobre consisten de hidróxido de calcio e hidróxido de sodio, o hidróxido de potasio, óxido de calcio y sílica gel, los cuales pueden ser usados para la eliminación de CO<sub>2</sub> durante el almacenamiento para prevenir el estallido del empaque (Kerry, 2006).

Algunos sistemas contienen óxido de calcio, que reacciona con agua formando hidróxido de calcio, el cual reacciona con el CO<sub>2</sub> produciendo CaCO<sub>3</sub> (López-Rubio & Ozdemir, 2004). Devlieghere (1999); Ozdemir (2004) mencionan que se han elaborado desecantes de múltiples formas patentados como bolsitas absorbentes de CO<sub>2</sub> que incluye un sobre poroso que contiene CaO y un agente hidratante como sílica gel en el que el agua es adsorbida. Las siguientes reacciones se producen:



Las propiedades causticas del hidróxido de calcio y su disolución potencial en agua, aumentan el pH del alimento empacado, puede disuadir su desarrollo microbiano. Una de sus aplicaciones más comunes es evitar el estallido de los envases de café molido recién tostado (López-Rubio, 2004).

La zeolita, el carbón activado y otros minerales finamente divididos adsorben el gas hasta que el equilibrio es logrado, así en el caso de que la concentración de CO<sub>2</sub> en el espacio de cabeza disminuya, el gas después fluirá desde el adsorbedor a la atmósfera interna. Por lo tanto ellos pueden ser llamados controladores de CO<sub>2</sub> (López-Rubio, 2004).

**Desventaja del uso de recolectores de CO<sub>2</sub>:** estos adsorbedores no reducen la concentración de CO<sub>2</sub> del espacio de cabeza exclusivamente, sino casi todos los volátiles presentes en la atmósfera interna (López-Rubio, 2004).

El uso de absorbedores y emisores de CO<sub>2</sub> es una tecnología que va más allá de los simples sistemas de envasado en atmósfera modificada que usa la permeabilidad del gas de los materiales de forma pasiva. Esta tecnología involucra la absorción/emisión del gas específica por/desde el material del envase y eventualmente el control de la concentración de gas (López-Rubio, 2004).

#### **2.2.4 RECOLECTORES DE ETILENO**

Etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) actúa como una hormona vegetal que tiene diferentes efectos fisiológicos en frutas frescas y hortalizas durante la madurez. Acelera la respiración, lo que lleva a la madurez y a la senescencia, y también al ablandamiento y la maduración de los tejidos del producto. Por otra parte, la acumulación de etileno puede causar coloración amarillenta en vegetales verdes y puede ser responsable de una serie de reacciones indeseables postcosecha en las frutas y hortalizas frescas tales como desarrollo de sabores amargos y degradación de clorofila. Aunque algunos efectos del etileno son positivos, tales como desverdizado de cítricos, el etileno es a menudo perjudicial para la calidad y vida útil de frutas y verduras. Para prolongar la vida útil y mantener una calidad visual y organoléptica aceptable, la acumulación de etileno en el empaque debe ser evitada (Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002; López-Rubio & Ozdemir, 2004; Day, 2008).

Una gran proporción de las frutas y hortalizas cosechadas cada año se pierden debido a la contaminación por hongos y por daños fisiológicos (Devlieghere, 1999). Los recolectores de etileno, basados en varias reacciones, son extensamente usados

para desacelerar la tasa de maduración de frutas climatéricas esto podría contribuir a un aumento en la importación y exportación de frutas y vegetales frescos (Devlieghere, 1999; Gontard, 2008).

Los sistemas más usuales de absorción de etileno son:

- Permanganato potásico ( $\text{KMnO}_4$ ) inmovilizado sobre sustrato mineral inerte como perlita, alúmina, zeolita, carbón activado, sílica gel, cristobalita (Devlieghere, 1999; De Kruijft, 2002; López-Rubio, Ozdemir, 2004).
- Metales catalizadores (paladio, etc.) sobre carbón activado, éste absorbe al etileno y el catalizador lo degrada (De Kruijft, 2002).

El recolector de etileno más común es aquel a base de permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ), el cual oxida al etileno a acetato y etanol (Devlieghere, 1999; De Kruijft, 2002; López-Rubio & Ozdemir, 2004). En este proceso, el cambio de color de púrpura a marrón indica la capacidad restante de recolección de  $\text{C}_2\text{H}_4$  (Devlieghere, 1999; Day, 2008). Los productos basados en  $\text{KMnO}_4$  no pueden integrarse en los materiales en contacto con los alimentos, sólo se suministran en forma de bolsitas dentro del empaque del producto ya que el  $\text{KMnO}_4$  es tóxico y tiene un color morado (Devlieghere, 1999; De Kruijft, 2002; López-Rubio, 2004). Estos sobres son colocados dentro de mantas o tubos que pueden ser colocados en la producción de depósitos de almacenamiento (Day, 2008). El material del sobre es altamente permeable al etileno y la difusión a través no es un factor limitante (De Kruijft, 2002). Por lo general, estos productos contienen 4-6% de  $\text{KMnO}_4$  sobre un sustrato inerte con una gran superficie, como perlita, alúmina, gel de sílice, vermiculita, carbón activado o zeolita, este sustrato inerte absorbe el etileno y el permanganato lo oxida a acetato y etanol (Devlieghere, 1999; De Kruijft, 2002; Ozdemir, 2004; Day, 2009). El recubrimiento del mineral con un catión de amonio cuaternario (Ozdemir, 2004). La eficiencia de estos recolectores de etileno depende fuertemente del área de superficie de contacto y el contenido de reactivo de permanganato de potasio (De Kruijft, 2002; Ozdemir, 2004).

También se han elaborado sistemas recolectores de etileno en forma de película que han incorporado en su estructura un material en polvo finamente dispersado (mineral), tales como zeolita, arcillas u oya-ishi japonesa (López-Rubio & Ozdemir, 2004). Estos dispositivos están creciendo en popularidad en comparación de los sobres debido a una mayor aceptación del consumidor (López-Rubio, 2004). Sin embargo como ya se mencionó el permanganato de potasio no es integrado en superficies en contacto con alimento de películas de envasado debido a su toxicidad (Ozdemir, 2004). La desventaja de esta tecnología es que la mayoría de estas películas son opacas y no absorben suficiente etileno. Los minerales deberán ser finamente divididos para minimizar alteraciones en la permeabilidad y otras propiedades del empaque (López-Rubio, 2004).

Otro tipo de concepto de recolección de etileno hace uso de varios catalizadores metálicos (Day, 2008). La recolección de  $C_2H_4$  se basa en la absorción y posterior ruptura del etileno en el carbón activado. El carbón vegetal que contiene PdCl como un catalizador metálico previniendo la acumulación de etileno y reduciendo la tasa de ablandamiento del producto (Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002; Ozdemir, 2004).

Más recientemente, un desarrollo prometedor basado en el uso de trienos que contienen nitrógeno deficiente de electrones incorporados en películas permeables a etileno han sido reportados. El trieno preferido para este tipo de aplicación es tetrazine. Sin embargo, esta molécula no es estable en presencia de agua y, así, debe ser absorbido en un plástico hidrofóbico, permeable a etileno y son grupos hidroxilo. Las películas adecuadas incluyen polietileno, silicona, poliestireno, policarbonato, y polipropileno (López-Rubio, 2004).

Otros sistemas de eliminación de etileno están basados en la capacidad de ciertos minerales dispersados finamente (como son piedra pómez, zeolita, carbón activado, cristobalita o clinoptilolita, arcillas u oya-ishi japonesa) para absorber etileno. Estos minerales son incorporados por ejemplo en bolsas de polietileno. Sin embargo la

capacidad de absorción es a menudo perdida cuando se incorporan estos minerales en una matriz polimérica (Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002).

En general, los absorbedores de etileno se utilizan para el envasado de frutas, verduras y otros productos hortofrutícolas. Aunque también la tecnología de depuración de  $C_2H_4$  también se ha trasladado a los frigoríficos domésticos (López-Rubio & Ozdemir, 2004; Devlieghere, 1999).

De acuerdo a la investigación de López-Rubio (2004); De Kruijf (2002); Devlieghere (1999) las principales desventajas del uso de sistemas recolectores de etileno son:

- Muchas de las reclamaciones de la capacidad recolectora de  $C_2H_4$  han sido poco documentados, por lo que la eficacia de los materiales es difícil de justificar.
- Los recolectores de  $C_2H_4$  no han tenido mucho éxito, probablemente debido a su insuficiente capacidad absorbente.

### **2.2.5 REGULADORES DE HUMEDAD**

Los alimentos susceptibles a daños por la humedad necesitan ser envasados en un material con alta barrera a la humedad. Una cierta cantidad de humedad, sin embargo, puede quedar atrapada en el envase o se desarrolla por permeación durante el almacenamiento y la distribución (Devlieghere, 1999; Suppakul, 2003; López-Rubio, 2004). El exceso de agua desarrollada dentro de un empaque alimenticio usualmente ocurre debido a la respiración de productos frescos, fluctuaciones de temperatura en empaques alimenticios de humedad relativa de equilibrio alto o el goteo de fluidos de tejido de carne cortada y aves (De Kruijf, 2002; Suppakul, 2003; Ozdemir, 2004). Si esta agua no es eliminada será absorbida por el producto o puede formarse un condensado en el empaque lo cual favorece el

crecimiento microbiano y cambios en la textura y el sabor, empañando el empaque y dando como resultado la pérdida de calidad, la reducción de la vida de anaquel y provocando el rechazo del consumidor (Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002; Suppakul, 2003; López-Rubio & Ozdemir, 2004). Niveles excesivamente altos de agua hacen que el ablandamiento de productos secos crujientes como galletas dulces y saladas, apelmazamiento de leche en polvo y café instantáneo o humedecimiento de productos higroscópicos, tales como dulces y caramelos. Por otra parte, la evaporación excesiva del agua a través del material de envasado puede dar lugar a la desecación de los productos alimenticios envasados o puede favorecer la oxidación de lípidos (Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002).

Para evitar esto y establecer el nivel deseado de humedad relativa en el espacio superior del paquete, los fabricantes de alimentos pueden utilizar un controlador de humedad el cual es un sistema capaz de regular el contenido en agua líquida o gaseosa en la atmósfera que rodea al alimento dentro del envase. Puede ser una película con permeabilidad al vapor de agua adecuado o utilizar una película desecante o un sobre de control de la humedad, una almohadilla o una manta (Devlieghere, 1999; Day, 2008).

Existen dos distintas maneras para regular la humedad contenida del producto alimenticio empacado, es decir, por control del agua líquida o por buffer de humedad (Kuijf, 2002; Suppakul, 2003; Day, 2008).

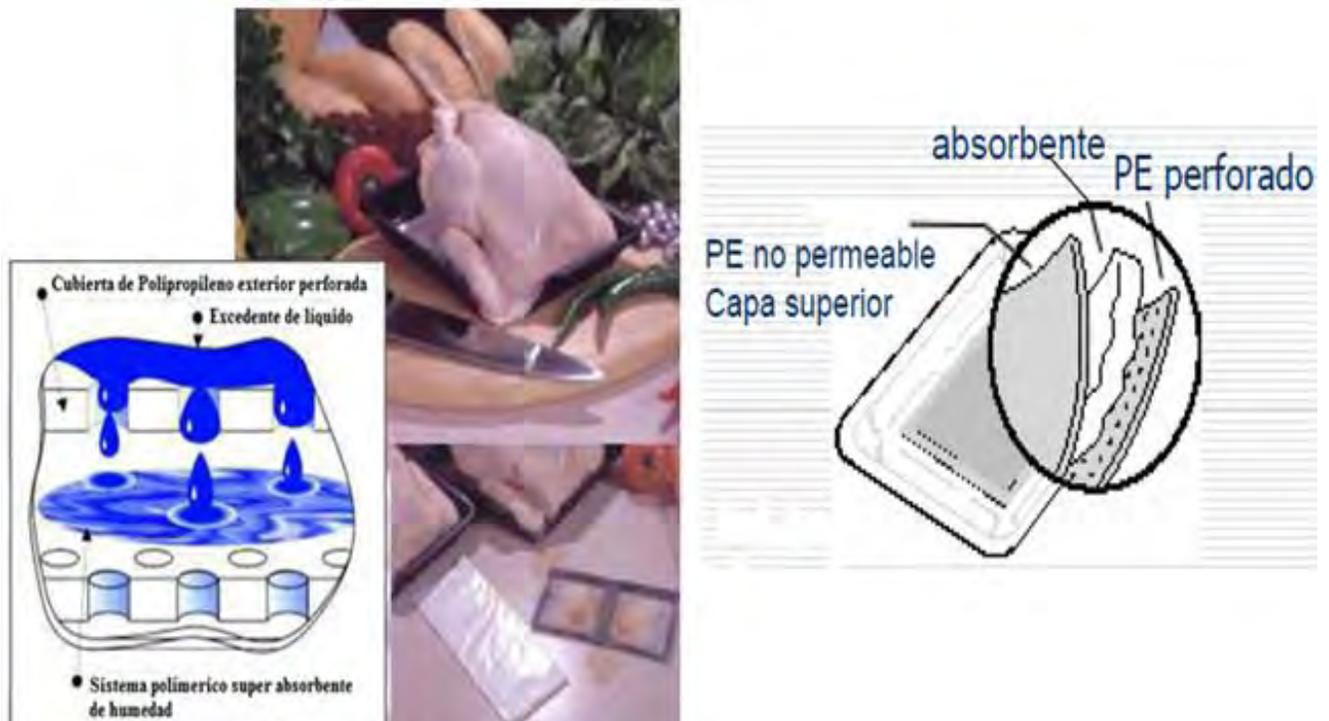
**a) El control de agua excesiva (control de agua líquida).** El principal propósito del control de agua líquida es bajar la actividad del agua del producto, suprimiendo así el crecimiento de hongos, levaduras y el deterioro bacteriano sobre los productos alimenticios con alto  $a_w$  (Devlieghere, 1999; Suppakul, 2003; López-Rubio, 2004; Kerry, 2006). Puede ser llevado a cabo mediante la aplicación de **hojas absorbentes de goteo**. Estas están usualmente compuestas de dos capas de polímeros microporosos o no tejidos (como son polietileno, polipropileno), entre los cuales es colocada una capa de polímeros

superabsorbente tales como sales de poliacrilato, fibras de celulosa (CMC) y copolímeros de almidón que tienen una muy fuerte afinidad por el agua. Otra opción es incluir zeolita (De Kruijf, 2002; Suppakul, 2003; Kerry, 2006; Day, 2008) (Ver Fig. 2.2.5.1). Son aplicables en la eliminación de agua fusionada del pescado fresco, carne u otros alimentos congelados y de la sangre o fluido de los tejidos de la carne para hacer el empaque más atractivo para el consumidor, y para prevenir la condensación de agua en productos frescos tales como vegetales (Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002; Suppakul, 2003; López-Rubio, 2004; Kerry, 2006). Hojas similares son usadas para la absorción de agua de hielo derretido en el envase de mariscos para el transporte de aire (Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002; Suppakul, 2003; López-Rubio, 2004; Day, 2008).

El ciclo de temperatura de alimentos de alto  $a_w$  ha llevado al uso de **plásticos con un aditivo anti-vaho** que baja la tensión interfasial entre el condensado y la película. Esto contribuye a la transparencia de las películas y permite al consumidor ver claramente el alimento empacado aunque no afecta la cantidad de agua líquida presente dentro del empaque (Fig. 2.2.5.2). Algunos plásticos con aditivos antivaho son los etoxilatos no iónicos, monoglicéridos o surfactantes no iónicos (Suppakul, 2003; Ozdemir, 2004; Kerry, 2006).

Mediante el mismo principio con el que se elaboran las hojas de absorción de goteo son elaborados los **deseccantes** de humedad los cuales consisten básicamente en un polímero súper absorbente entre dos capas de polímero microporoso o no tejido en forma de sobre, o cartuchos de plástico de barrera al agua perforados que contienen el desecante, o directamente incorporados en el material de envasado. Algunos sistemas patentados están hechos de tres componentes: un polímero hidrofóbico (por ejemplo, una poliolefina), un agente hidrofílico (por ejemplo, polietilenglicol) y un material higroscópico (sal seleccionada dependiendo de la humedad relativa requerida). Se piensa que el agente hidrofílico actúa como un agente de canalización para facilitar la difusión de moléculas de agua a través del polímero (López-Rubio, 2004). Los polímeros

preferidos para la absorción de agua son las sales de poliacrilato y los copolímeros de injerto de almidón (Devlieghere, 1999; Suppakul, 2003).



**Fig. 2.2.5.1 Sistemas que consisten de polímero súper absorbente, como polimetacrilatos o almidones copolimerizados, localizado entre dos capas de un polímero micro poroso o no tejido permeable (Yezza, 2008)**

Estos sistemas han sido elaborados en forma de mantas o almohadillas que usualmente envuelven al producto que va a ser conservado para absorber el agua. Otra forma de elaborar estos sistemas es en forma de películas de lámina polimérica que tienen una capa absorbente de humedad que es formado de un copolímero de injerto de poliéster y una resina, una resina acrílica, y una resina vinílica. Los sistemas que absorben humedad en sobre son usualmente usados para mantener niveles bajos en empaques de

alimentos secos, tales como papas fritas, frutos secos, especias, galletas, leche en polvo y café instantáneo (Ozdemir, 2004).

Investigadores como López-Rubio (2004) clasifican a los desecantes en básicamente dos tipos de materiales:

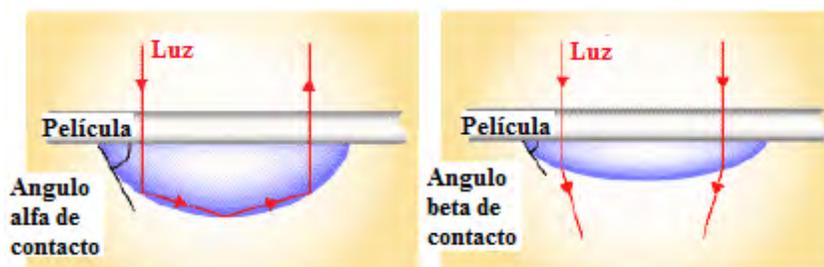
(1) La sílica gel, arcillas naturales activadas (como la montmorillonita), sulfato de calcio, o tamices moleculares, que retienen aumentando las cantidades de agua como el aumento de la humedad. La sílica gel, por ejemplo, presenta una relación de proporción casi entre agua ganada y la humedad relativa en el rango de 0%-60%.

(2) El óxido de calcio y otros óxidos de metales (BaO, MgO y CaO) no absorben la humedad, pero reaccionan irreversiblemente para producir el correspondiente hidróxido. La reacción ocurre en muy bajas  $a_w$ . La isoterma de absorción del agua para CaO presenta un perfil tipo Langmuir, recolectando 30 g de agua por 100 g de óxido en HR por debajo del 30%. Ninguna absorción adicional deberá esperarse en HR más altas.

Los compuestos inorgánicos han sido históricamente usados como absorbentes de agua. Para aquellos productos que requieren muy baja humedad relativa, los sobres que contienen los desecantes (CaO, sílica gel, arcilla natural) han sido normalmente usados. La alta resistencia térmica de estas sustancias permite su incorporación como últimos rellenos divididos en las extrusiones para producir estructuras plásticas desecantes. Se están desarrollando estos tipos de plásticos para uso en viales, películas, bandejas, etc. Por otra parte, estos plásticos son capaces de cambiar su color mientras ellos alcanzan su capacidad de adsorción máximo. Para aplicaciones en alimentos secos, los desecantes a base de estos mismos compuestos inorgánicos a menudo son contenidos dentro de sobres (López-Rubio, 2004).

Otra opción para el control de la humedad es el uso de películas comestibles las cuales generalmente se utilizan en forma de ceras para evitar la deshidratación de frutas y hortalizas y mejorar la apariencia comercial. También se pueden utilizar películas mixtas a base de derivados de celulosa, gomas, gluten, almidón, combinados con otras sustancias.

**b) Buffer de humedad.** Es otra manera de controlar el exceso de humedad en alimentos empacados con  $a_w$  alto. Este enfoque involucra la intercepción de la humedad en la fase de vapor mediante la reducción de la humedad relativa en el empaque y de ese modo el contenido del agua superficial del alimento. Esto es logrado por medio de 1 o más humectantes (como propilenglicol) entre dos capas de una película plástica, como polivinil alcohol, que es altamente permeable al vapor de agua o mediante un sobre que absorbe humedad (Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002; Suppakul, 2003; Day, 2008). En contraste a los desecantes, las sales humectantes no producen un entorno seco. Este tipo de sistemas retienen sólo cuando la humedad relativa dentro del empaque aumenta por encima de la humedad relativa de equilibrio de las sales produciendo después de la adsorción la disolución parcial de la sal. Por ejemplo, el  $MgCl$ , que tiene una humedad relativa de equilibrio de 33% a temperatura ambiente, comienza a absorber agua cuando la humedad del empaque supera este valor. Son comercializados en el uso de almacenamiento doméstico de carne y pescado al reducir el  $a_w$  próximo al alimento. Hasta el momento, ningún estudio ha sido reportado sobre el transporte de masa de sales a través de matrices poliméricas, aunque ninguna migración substancial deberá ser esperada (Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002; López-Rubio, 2004).



**Fig. 2.2.5.2. Esquema de estructura de películas antivaho (Murcia, 2009)**

La tendencia en el mercado de los sistemas absorbedores de humedad es introducir las sustancias absorbedoras en el interior del material del empaque con el fin de hacer al sistema activo invisible al consumidor como son, por ejemplo, bandejas para carne fresca o pescado (Gontard, 2008).

## **2.2.6 SISTEMAS ANTIMICROBIANOS**

Investigadores como Han (2000); Skandamis & Quintavalla (2002); Coma (2008) consideran que la mayoría de los sistemas de envasado de alimento consisten del material del envase, el alimento, y el espacio de cabeza en el empaque. Si el volumen vacío del producto alimentario sólido es asumido como un tipo de espacio de cabeza, la mayoría de los sistemas de envase de alimento representan ya sea un sistema empaque/alimento o un sistema empaque/espacio de cabeza/alimento (Fig. 2.2.6.1).

Un sistema empaque/alimento tiene un producto alimenticio en contacto con el empaque, o una baja viscosidad o alimento líquido sin espacio de cabeza. En estos sistemas la difusión entre el material del envase y el alimento y la división en la interfase son el principal fenómeno de migración involucrado en este sistema.

Ejemplos de este tipo de sistemas son los quesos envueltos, los productos de delicatessen y empaques asépticos brik (Han, 2000; Quintavalla, 2002).

Ejemplos de un sistema empaque/espacio de cabeza/alimento son empaques flexibles, botellas, latas, copas, y cartones. La evaporación o la distribución equilibrada de una sustancia entre el espacio de cabeza, el material del envase, y/o el alimento deben ser consideradas como una parte de los principales mecanismos de migración para estimar la distribución interfásica de la sustancia. Comparado a la sustancia no volátil, que sólo puede migrar mediante el área de contacto entre el empaque y el alimento, una sustancia volátil puede migrar por medio del espacio de cabeza y los vacíos de aire entre el empaque y el alimento (Han, 2000; Quintavalla, 2002).

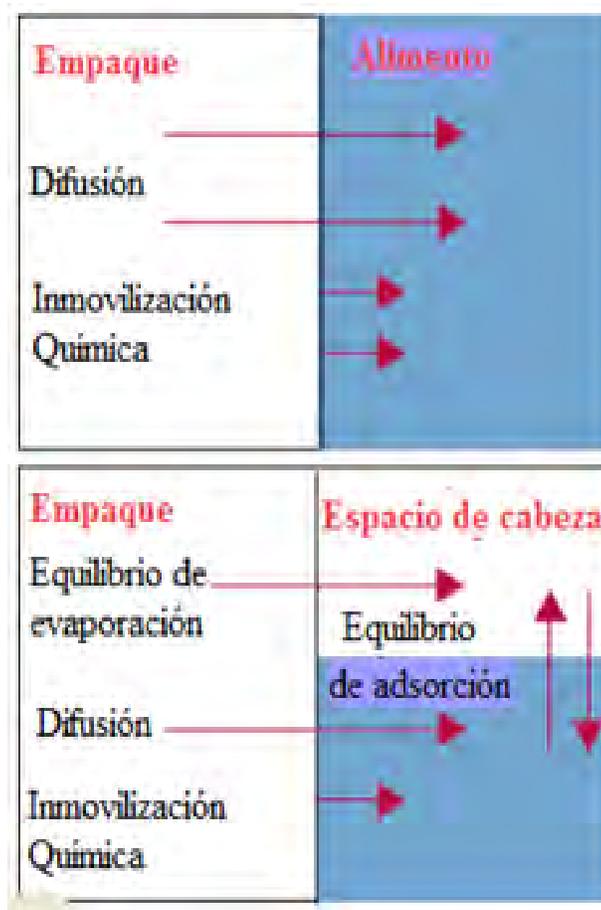


Fig. 2.2.6.1 Sistemas de envase activo y fenómeno de migración (Han, 2000).

La contaminación y el desarrollo microbiano reducen la vida de anaquel de alimentos y aumenta el riesgo de enfermedades transmitidos por alimentos. Ya que la contaminación microbiana de muchos alimentos ocurre principalmente en la superficie, debido a la manipulación post-proceso, muchos intentos han sido hechos para mejorar y retrasar el deterioro mediante la aplicación directa de agentes antimicrobianos (Quintavalla, 2002; López-Rubio, 2004; Kerry, 2006).

La adición directa de antimicrobianos al alimento resultará en una reducción inmediata de la población bacteriana pero esta técnica no puede dar cuenta de la recuperación de las células dañadas o el crecimiento de las células que no fueron destruidas (Quintavalla, 2002; Coma, 2008). Además el efecto de la aplicación tradicional de agentes antimicrobianos directamente sobre la superficie del alimento, por inmersión o rociado, podría ser limitado debido a la difusión o dilución rápida de sus componentes en el alimento reduciendo la concentración de conservación en la superficie resultando en la inactivación parcial de las sustancias activas mediante los constituyentes del producto permitiendo a los microorganismos superar su efecto bacteriostático y es por lo tanto esperado que tenga solamente efecto limitado en la flora de la superficie (Piette & Scannell, 2000; Quintavalla, 2002; López-Rubio, 2004; Kerry, 2006; Coma, 2008; Lee, 2010).

Para evitar lo anterior el uso de sistemas antimicrobianos puede ser útil ya que, sin tener que aplicar los agentes directamente al alimento, pueden prevenir el crecimiento de microorganismos en el producto y por lo tanto llevar a la extensión de la vida de anaquel y/o la mejora de la seguridad microbiana del alimento.

López-Rubio (2004) menciona que hoy en día el envasado antimicrobiano para alimento está basado en uno de los siguientes conceptos:

- El empaque está diseñado para modificar las condiciones ambientales inhibiendo el crecimiento microbiano. Previamente se mostró que los recolectores de oxígeno descritos o los emisores de CO<sub>2</sub> alteran la composición atmosférica y reducen la cinética de crecimiento de

microorganismos aerobios. También, los empaques activos que reducen el contenido de agua afectan el desarrollo microbiano. Algunas almohadillas que absorben, usados para absorber los exudados en bandejas de carne, incorporan ácidos orgánicos y surfactantes para prevenir el crecimiento microbiano, ya que los exudados del alimento son ricos en nutrientes (Fig. 2.2.6.2)

- El empaque incorpora agentes antimicrobianos y es diseñado para liberarlos en el espacio de cabeza del empaque o directamente en el producto alimenticio.
- El empaque contiene una sustancia inmovilizada con carácter antimicrobiano. Esta categoría de empaques activos incluye: (1) los polímeros con propiedades antimicrobianas inherentes y (2) estructuras que contienen agentes antimicrobianos inmovilizados. La inmovilización puede ser lograda por difusión restringida o por unión covalente de la sustancia a la columna vertebral del polímero.



**Fig. 2.2.6.2 Almohadillas con agentes antimicrobianos (Ponce, 2012)**

La aplicación de agentes antimicrobianos en materiales de envasado podría ser útil para prevenir el crecimiento de microorganismos sobre la superficie del producto (Han, 2000; Devlieghere & López-Rubio, 2004). Este tipo de sistemas antimicrobianos facilitan la liberación directa o la reacción de sustancias antimicrobianas que actúan de forma efectiva sobre los agentes microbianos que pueden influir negativamente sobre los alimentos envasados (Devlieghere, 1999; Lee, 2010).

Aunque existen alternativas al uso de aditivos directos para minimizar la carga microbiana como son el enlatado, el procesamiento aséptico y en envasado por atmósfera modificada, estos presentan muchas desventajas. Los alimentos enlatados no pueden ser vendidos como “frescos”. El procesamiento aséptico puede ser costoso y el peróxido de hidrógeno, el cual puede ser restringido en niveles por agencias regulatorias, es a menudo usado como un agente esterilizante. En ciertos casos, el envasado por atmósfera modificada puede promover el crecimiento de anaerobios patógenos y la germinación de esporas, o prevenir el crecimiento de organismos de deterioro los cuales indican la presencia de patógenos (Suppakul, 2003).

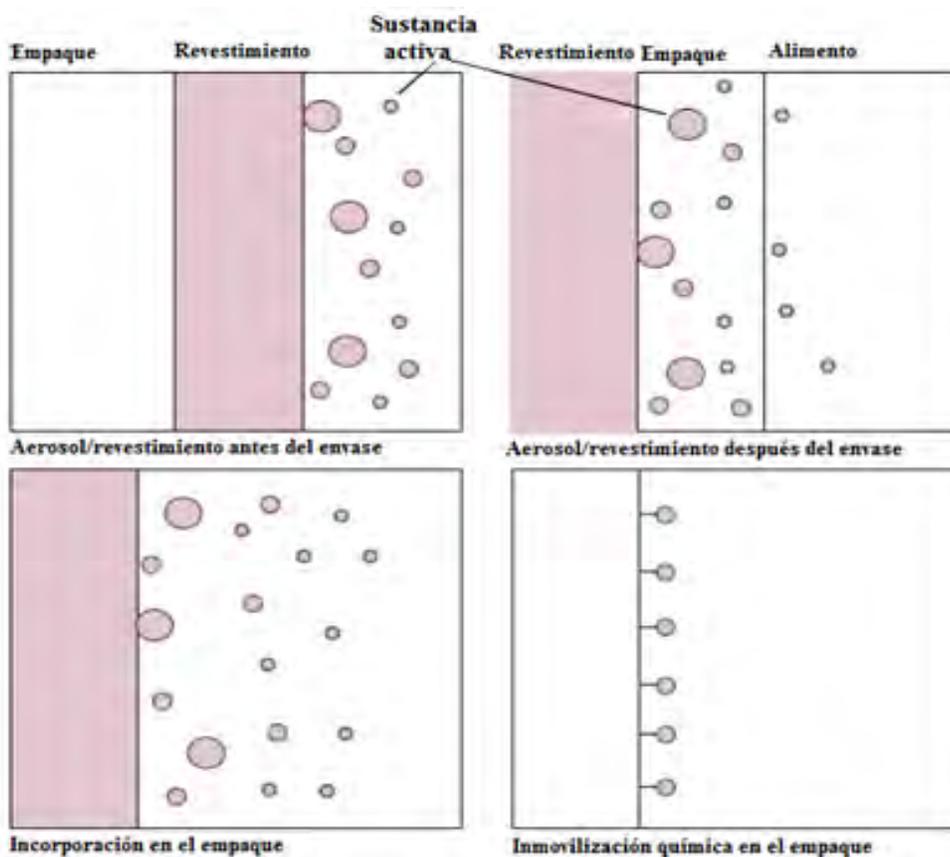
A diferencia del método tradicional de aplicación de los agentes antimicrobianos, el uso de envases o de películas que contengan estos agentes podría demostrar más eficiencia en control de la liberación de sustancias, disminuyendo la migración de los agentes lejos de la superficie. De esta manera se logra mantener una concentración predeterminada del compuesto activo en el alimento empacado donde es necesario y por un periodo determinado de tiempo, es decir, durante el almacenamiento, transporte y manipulación (Piette, 2000; Quintavalla, 2002; Del Nobile, 2003; López-Rubio, 2004; Coma, 2008; Lee, 2010).

En base a la actividad migratoria los sistemas antimicrobianos pueden ser divididos en dos tipos: los primeros son aquellos que contienen un agente antimicrobiano inicialmente y que intencionalmente migra a la superficie del alimento por difusión o

partición, o aquellos que son liberados por evaporación a través del espacio de cabeza; los segundos son aquellos que son efectivos contra el crecimiento en la superficie sin migración intencional del agente activo al alimento (De Kruijf, Quintavalla, Skandamis, 2002; Sppakul, 2003; Ozdemir, 2004; Kerry, 2006; Lee, 2010).

No obstante, incluso en sistemas antimicrobianos en contacto con alimento con una migración no destinada asumida (por ejemplo, plata o sistemas basados en plata, otros inmovilizados o biocidas injertados) se sabe que presentan algún grado de migración (Gontard, 2008).

La Fig. 2.2.6.3 muestra el fenómeno de transferencia de masa de una sustancia activa con diferentes aplicaciones.



**Fig. 2.2.6.3 Migración de sustancia activa (Han, 2000; Quintavalla, 2002)**

Los agentes antimicrobianos usados para el envasado activo pueden ser categorizados dependiendo del material base, ya sea como: 1) orgánico o inorgánico o 2) agentes químicos o agentes naturales o probióticos (Lee, 2010).

Estos agentes pueden ser compuestos con acción antimicrobiana, es decir, con capacidad de inhibir o evitar el crecimiento bacteriano en solución, en medio de cultivo o en una variedad de alimentos. Algunos de estos son: dióxido de azufre, dióxido de cloro, sulfitos, nitritos, cloruros, fosfatos, epóxidos, alcoholes como etanol, pirocarbonato de dietilo, ácidos orgánicos (ácido propiónico, ácido acético, ácido benzoico) y sus sales (sorbato de potasio, benzoato de sodio, anhídrido sórbico, anhídrido benzoico), parabenos (heptilparabeno y alquilos etil, metil, propil), ácidos grasos (ácido láurico, ácido palmitoleico, glicerol monolaurato), peróxido, ozono, eugenol, cinamaldehído, isotiocianato de alilo, lisozima, nisina, aceites esenciales, agentes quelantes (EDTA), metales (plata, cobre, zirconio, óxido de titanio), enzimas (lisozima, peroxidasa, glucosa oxidasa, muramidasa), polipéptido (lactoferrina), bacteriocinas (nisina, pediocina, lactocinas), quitosán, antioxidantes, antibióticos y fungicidas, gases y compuestos fenólicos sanitizantes, compuesto volátiles de plantas y extractos de como (timol, p-cimeno y cinamaldehído), aceites esenciales de plantas, nitritos y sulfitos, y probióticos (Devlieghere, 1999; Han, Scannell, 2000; De Kruijf, 2002; Ozdemir, 2004; Kerry, 2006; Day, 2008; Del Nobile, 2009; Lee, 2010).

Para lograr que los materiales de envasado de alimentos obtengan actividad antimicrobiana los métodos más empleados son: la incorporación e inmovilización de sustancias antimicrobianas comunes, radiación, modificación de superficie o emisión/inyección de gas (Han, 2000; Suppakul, 2003; Kerry, 2006). Los métodos de radiación pueden incluir el uso de materiales radioactivos, materiales excitados por laser, películas con exposición UV, o polvos de cerámica de emisión de infrarrojo cercano. Sin embargo, la esterilización por radiación de los materiales de envasado de alimento no está aún permitido por la Food and Drug Administration (Han, 2000).

Los aditivos con propiedades antimicrobianas incorporados a materiales de envase (rígido o flexible) controlan la contaminación microbiana mediante la reducción de la tasa de crecimiento, el crecimiento de población máximo y/o la extensión del periodo lag de los microorganismos objetivo o mediante la inactivación de microorganismos por contacto (Han, 2000; Quintavalla, 2002; Suppakul, 2003; Kerry, 2006; Del Nobile, 2009).

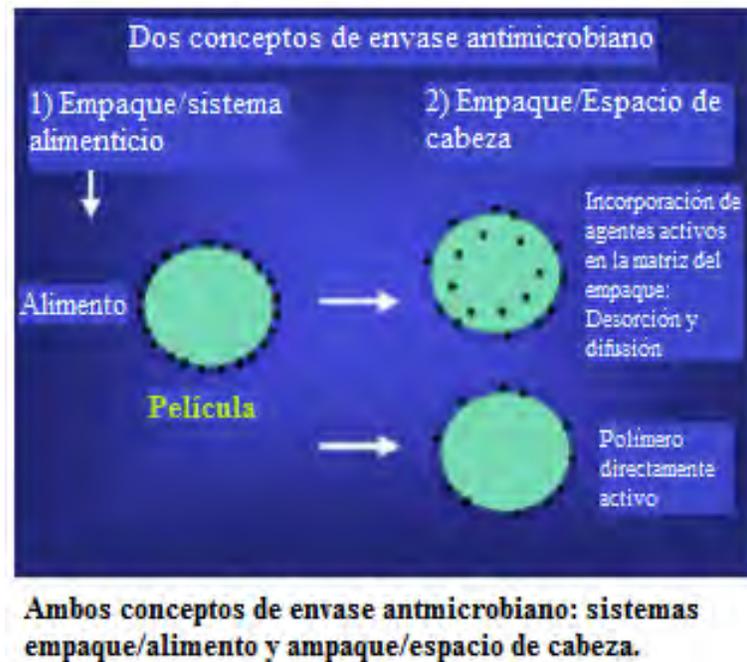
La incorporación de una sustancia antimicrobiana en un sistema de envasado de alimento puede tomar varios enfoques. Uno es poner el antimicrobiano en la película añadiéndolo en el extrusor cuando la película o la película co-extruída es producida. La desventaja de hacerlo es la rentabilidad pobre ya que el material antimicrobiano no expuesto a la superficie de la película está por lo general no disponible totalmente a la actividad antimicrobiana. Una alternativa a la extrusión es aplicar el aditivo antimicrobiano en un entorno controlado donde es importante que el material sea necesario y no se pierda; por ejemplo, puede ser incorporado en una capa en contacto con el alimento (usualmente también sirve como la capa interna de sellado por calor) de un material de envasado multicapa (Quintavalla, 2002).

Cuando los agentes antimicrobianos son incorporados en un polímero o revestidos en materiales de envasado, el material limita o previene el crecimiento microbiano. Esta aplicación podría ser usada efectivamente para alimentos, no sólo en la forma de películas sino también como contenedores y utensilios (Han, 2000; Suppakul, 2003).

Por otro parte de acuerdo con Devlieghere (2004); Coma (2008); Lee (2010) existen tres categorías básicas de materiales de envasado antimicrobiano en base a la incorporación del agente antimicrobiano:

- 1) La incorporación de la sustancia antimicrobiana en sobre conectado al empaque en el que las sustancias bioactivas volátiles son liberadas durante el almacenamiento. Los materiales de empaque común pueden ser utilizados sin el uso de materiales de empaque alternativo.

- 2) La incorporación directa del agente antimicrobiano en la película de empaque (por inmersión o pulverización).
- 3) El recubrimiento del envase con una matriz que actúa como un portador del agente antimicrobiano. Coma (2008); Lee (2010) coinciden en que estas categorías de materiales pueden liberar los agentes antimicrobianos sobre la superficie del alimento. Los agentes antimicrobianos pueden ser liberados por medio de evaporación en el espacio de cabeza (sustancias volátiles) o migrar en el alimento (aditivos no volátiles) por medio de difusión (Figura 2.2.6.4). Por otra parte López-Rubio (2004); Coma (2008) consideran que el recubrimiento antimicrobiano puede tomar dos formas adicionales:
  - a) Utilización de polímeros inherentemente antimicrobianos que exhiben propiedades de formación de película, tales como amino-polisacáridos (polisacáridos amino-catiónicos) o polímeros que son químicamente modificados para producir propiedades activas. Los materiales de envasado con agentes activos químicamente unidos al polímero pueden ser incluidos en esta categoría y la inmovilización del biocida sobre el polímero del envase puede ser usado para moléculas de grado no alimenticio. Para este sistema, la liberación del agente biocida no es requerida, o está prohibida en el caso de biocidas sin grado alimenticio. La limitación de este sistema es el contacto directo entre el envase y el alimento.
  - b) Utilización de recubrimientos comestibles activos directamente aplicados sobre los alimentos. La limitación es que el agente activo deberá ser aprobado como un aditivo alimenticio. Sin embargo, estos revestimientos, que se supone se comen, no son considerados o legalmente definidos como materiales de envase.



**Fig. 2.2.6.4 Conceptos de envase antimicrobiano (Coma, 2008)**

En el caso de las películas antimicrobianas su acción principal se basa en la liberación de agentes antimicrobianos, algunos de los cuales podrían representar un riesgo para la seguridad a los consumidores si la liberación no es bien controlada por algunos mecanismos dentro del material de envasado (Devlieghere, 1999; Quintavalla, 2002; Lee, 2010).

A pesar del gran interés sobre el desarrollo de películas antimicrobianas, en la literatura muy pocos trabajos son reportados tratando con su desarrollo obtenidas por medio de procesos de extrusión. Esto es principalmente debido al hecho de que el mayor deterioro de la actividad antimicrobiana puede ocurrir durante la extrusión usando alta temperatura, altas proporciones de corte y así, alta presión. Durante el proceso, de hecho, la alta temperatura y presión en el cilindro extrusor puede afectar la estabilidad química de los compuestos antimicrobianos incorporados (que generalmente son sensibles al calor e inestables térmicamente) pierden parcialmente o completamente su actividad antimicrobiana, reduciendo así su eficacia sobre

microorganismos de deterioro transmitidos por los alimentos (Del Nobile, 2009). Para minimizar este problema el tratamiento del polímero o la derivatización de los agentes activos antes de su adición al polímero puede ser necesario para aumentar la compatibilidad entre el agente y el polímero (Ozdemir, 2004).

Existe un creciente interés en recubrimientos o películas capaces de ser degradados a través de un proceso de compostaje natural o incluso con la capacidad de ser comestibles debido a factores tales como preocupaciones ambientales, necesario para nuevas técnicas de almacenamiento, y oportunidades para la creación de mercados nuevos para productos agrícolas subutilizados con propiedades de formación de película (Quintavalla, 2002; Kerry, 2006; Del Nobile, 2009). Los revestimientos comestibles y las películas preparadas desde polisacáridos, proteínas y lípidos tienen una variedad de ventajas tales como biodegradabilidad, comestibilidad, biocompatibilidad, apariencia estética y propiedades de barrera contra estrés de oxígeno y físico (Han, 2000; Quintavalla, 2002; Kerry, 2006).

Investigadores como Quintavalla (2002); Kerry (2006) mencionan que algunas ventajas del uso de recubrimientos comestibles y películas en alimentos son:

- \* Ayuda a mitigar el problema de la pérdida de humedad durante el almacenamiento de productos
- \* Mantiene los jugos de carnes frescas y cortes de aves empacados en bandejas de plástico
- \* Reduce la tasa de oxidación de lípidos que causan la rancidez y la oxidación de mioglobina que causa la coloración café
- \* Reduce la carga de microorganismos de deterioro y patógenos
- \* Restringe la pérdida de sabores volátiles y recoge olores exteriores

En el caso de películas y recubrimientos comestibles, la selección de los agentes activos incorporados está limitado a compuestos comestibles ya que ellos deben ser consumidos con capas comestibles de películas/recubrimientos y los alimentos juntos, su comestibilidad y seguridad son esenciales (Quintavalla, 2002; Kerry, 2006).

Algunos polímeros son inherentemente antimicrobianos como lo son algunos **polímeros catiónicos**, tales como el quitosán y el poli-L-lisina que promueven la adhesión celular, ya que las aminos cargadas interactúan con cargas negativas en la membrana celular (compuestos aniónicos como lipopolisacáridos y proteínas), causando fuga de constituyentes intracelulares (López-Rubio, 2004; Coma, 2008). El quitosán es un aminopolisacárido preparado por deacetilación de quitina, que es uno de los polímeros naturales más abundantes en organismos vivos como crustáceos, insectos y hongos (López-Rubio, 2004). El quitosán exhibe una actividad antifúngica y antibacteriana siendo principalmente activo contra el deterioro por levaduras, también inhibe algunas bacterias Gram-negativas y particularmente Gram-positivas, también muestra capacidad para retener sustancias antimicrobianas incluidas (Coma, 2008; Dawson, 2010). Se ha probado como no tóxico, inclusive se ha sido confirmado como GRAS por la FDA, biodegradable, y biocompatible (López-Rubio, 2004; Coma, 2008; Dawson & Lee, 2010). Puede ser usado en varias aplicaciones de conservación alimenticio tales como adición directa del quitosán en el alimento, aplicación directa de películas o recubrimientos de quitosán sobre la superficie del alimento, adición de sobres de quitosán en empaques y el uso de quitosán incorporado a materiales de envasado (Dawson, 2010). Los recubrimientos de quitosán pueden servir, al mismo tiempo, como soportes o acarreadores (Coma, 2008). Sin embargo su actividad antimicrobiana como recubrimiento disminuye con el tiempo y aunque también tiene capacidad de formación de película su limitación más grande para su uso es que sus propiedades mecánicas relativamente pobres. Sin embargo mediante el entrecruzamiento de las películas de quitosán con dialdehído de almidón, sus propiedades mecánicas son significativamente mejoradas y las películas aún retienen obvios efectos antimicrobianos (López-Rubio, 2004).

Los **derivados de celulosa** tales como hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) es una materia prima prometedora para recubrimientos comestibles asociados con entidades antimicrobianas (Coma, 2008). Ha mostrado ser adecuado para la liberación lenta de sorbato de potasio en superficies de alimentos lo que puede hacer el uso de esta película más eficiente ya que como ya se mencionó la migración lenta de los agentes lejos de la superficie ayudando así a mantener altas concentraciones donde son necesarios (Piette, 2000).

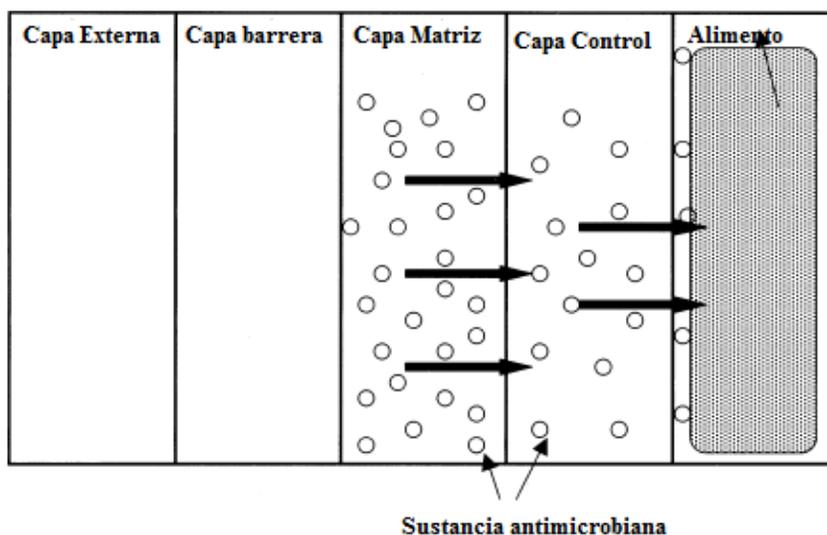
Un interesante opción como polímeros biodegradables son los **polilactatos** como el ácido poliláctico (PLA), que está hecho ante todo de fuentes de recursos agrícolas (maíz) tras la fermentación de almidón y la condensación de ácido láctico, exhibe propiedades mecánicas y físicas comparables a otros polímeros comercialmente disponibles (Peterse, 1999; Del Nobile, 2009).

Otros polímeros biodegradables pueden ser **derivados de fuentes de petróleo** o pueden ser obtenidos de fuentes de biomasa y pretróleo. Los polímeros más conocidos biodegradables derivados de fuentes de petróleo son poliéster alifático o co-poliéster aromático alifático. A diferencia de otras resinas a base de petroquímica, en condiciones ambientales adecuadas, estos poliésteres sintéticos se descomponen rápidamente en dióxido de carbono, agua y humus. Ejemplos de polímeros biodegradables a base de petróleo incluyen poli (butileno succinato), poliéster alifático, poli ( $\epsilon$ -caprolactona), y poli (vinil alcohol) (Del Nobile, 2009).

Uno particularmente atractivo desde el punto de vista del envase es policaprolactona (PCL), un poliéster lineal fabricado por polimerización por apertura de anillo de  $\epsilon$ -caprolactona, con un cristal de baja temperatura de transición y punto de fusión ( $65^{\circ}\text{C}$ ). Sus propiedades físicas y comercialmente disponibles son muy atractivas no sólo como material sustituto de polímeros no degradables sino también como plástico específico para aplicaciones en alimentos y agricultura (Del Nobile, 2009).

Para lograr una liberación controlada más adecuada a la superficie del alimento, el uso de películas multicapa ha sido probado (López-Rubio, 2004). Una típica película

multicapa que exhibe propiedades antimicrobianas usualmente consiste de cuatro capas (Fig. 2.2.6.5). En esta estructura, una sustancia antimicrobiana es incorporada en la capa matriz. Su liberación de la capa matriz a la superficie del alimento es controlada mediante la capa control justo a lado de la capa matriz (Ozdemir, 2004). La capa interna contiene la sustancia activa y la capa barrera previene la migración del agente hacia el exterior del empaque (López-Rubio, 2004).



**Fig. 2.2.6.5 Una estructura de una típica película activa antimicrobiana multicapa (Ozdemir; 2004)**

Para aquellas sustancias antimicrobianas que se van a ser liberadas desde películas, la transferencia de masa es un tema crítico para ser considerado en el diseño del sistema activo. Los estudios llevados a cabo sobre la migración de moléculas orgánicas volátiles y no volátiles desde los polímeros son aplicables para describir la liberación de agentes antimicrobianos de empaques (López-Rubio, 2004).

\* Para los agentes **volátiles**, su liberación es principalmente controlada por su difusión a través del polímero y su presión parcial en saturación. Una vez en el

espacio de cabeza, las sustancias antimicrobianas alcanzan la superficie del alimento donde ellos son absorbidos y después dispersos o difundidos a lo largo del producto alimenticio (López-Rubio, 2004).

Muchos compuestos volátiles son conocidos por exhibir propiedades antimicrobianas, incluyendo gases, tales como  $\text{SO}_2$  o  $\text{ClO}_2$ , y vapores de distinta volatilidad, incluyendo alcoholes, aldehídos, cetonas, y ésteres (López-Rubio, 2004).

- El compuesto fenoxi clorado y el dióxido de cloro exhiben propiedades antimicrobianas (Devlieghere, 1999). El dióxido de cloro ha recibido la aceptación de la Food and Drug Administration como un aditivo antimicrobiano para materiales de envasado (López-Rubio, 2004). Siendo eficaz contra bacterias, hongos y virus, incluyendo activamente el crecimiento de células vegetativas y esporas (Coma, 2008). Es un gas antimicrobiano biocida liberado de un químico básico en estado sólido llamado microesferas a través de la interacción de la humedad para producir una liberación controlada y sostenida de dióxido de cloro en forma gaseosa (López-Rubio, 2004; Coma, 2008). Microesferas en polvo pueden ser liberados de sobres previamente incorporados al envase (Markarian, 2006; Coma, 2008). Entre sus ventajas se encuentran su amplio espectro bactericida y su efectividad a distancia, siendo así uno de los pocos antimicrobianos de envasado que no requiere contacto directo con el alimento, sin embargo también tiene un efecto adverso en la calidad de la carne incluyendo el oscurecimiento del color (López-Rubio, 2004; Lee, 2010).
- La aplicación de dióxido de azufre como control de crecimiento de hongos en algunas frutas no está permitida en la Unión Europea (López-Rubio, 2004). Es importante remarcar que la acumulación o absorción de grandes cantidades de  $\text{SO}_2$  por alimentos podría causar problemas toxicológicos (Devlieghere, 1999; López-Rubio, 2004; Lee, 2010). El conocer sobre la tasa de difusión de  $\text{SO}_2$  a los alimentos es esencial para hacer frente a cuestiones toxicológicas y

garantizar seguridad en la liberación de SO<sub>2</sub> de sistemas de envasado activo (Devlieghere, 1999). Algunos productos comerciales están basados en la reacción de la hidrólisis del sulfito de calcio. En estos casos, uno de los productos se descompone, por la reacción con la humedad, siendo de esta manera el agente activo (Gontard, 2008). Otros utilizan sobres hechas de películas poliméricas con sílica, los cuales usan etanol y metabisulfito de sodio para generar dióxido de azufre (Devlieghere, 1999; Lee, 2010). A pesar de todos los beneficios muestra un número de problemas, cambios sensoriales incluyendo blanqueamiento, residuos de SO<sub>2</sub> si la liberación no es bien controlada, además de que todo sistema que produce dióxido de azufre se ve con preocupación ya que este puede ejercer un efecto alérgico en consumidores susceptibles (Devlieghere, 1999; Suppakul, 2003; López-Rubio, 2004).

- El etanol es un agente germicida de amplio uso. El envase liberador de etanol es capaz de desacelerar el crecimiento de hongos pero también puede inhibir el crecimiento de levaduras y bacterias (Gontard, Day, 2008). También reduce la tasa de endurecimiento en productos de panadería y cambios oxidativos (Suppakul, 2003; Ozdemir, 2004; Gontard & Day, 2008). Mediante el uso de sobres generadores de vapor de etanol en el espacio de cabeza, el vapor se deposita sobre la superficie del alimento e inhibe el crecimiento microbiano (Smith, 1990; Suppakul, 2003; Day, 2008). En el caso de los generadores de etanol grado alimenticio esta sustancia activa es absorbida o encapsulada en un material soporte (Suppakul, 2003; Ozdemir, 2004). De esta forma el etanol puede ser absorbido en dióxido de silicón en polvo y contenido en sobre de papel (copolímero de etil vinil acetato) (Smith, 1990; Ohlsson, 1994; Devlieghere, 1999; Day, 2008). Una lenta o rápida liberación de etanol del material soporte al espacio de cabeza del empaque es regulada por la permeabilidad del material del sobre al vapor de agua (Suppakul, 2003; Ozdemir, 2004). El etanol en el material soporte es intercambiado con el agua

absorbida por el material soporte (Smith, 1990; Devlieghere, 1999; Ozdemir, 2004). Para enmascarar el olor a alcohol, los sobres contienen trazas de vainilla u otros sabores como componentes de enmascaramiento (Smith, 1990; Ozdemir, 2004; Day, 2008). El tamaño de los sobres varía de 0.6 a 6 g, equivalente de 0.5 a 3 g de etanol disponible para evaporación en el espacio de cabeza, y su tamaño depende del peso del alimento, el  $a_w$  del producto y la vida de anaquel del alimento deseado (Smith, 1990; Day, 2008).

Ozdemir (2004) menciona las ventajas de los sistemas emisores de etanol las cuales son:

- ✓ Ya que el vapor de etanol es directamente generado del sobre en el empaque se previene el contacto directo del etanol con el alimento, proporcionando así alimentos seguros a diferencia del método de rociado de etanol antes del envasado.
- ✓ Los sobres generadores de etanol eliminan la necesidad de otros conservadores, tales como sorbatos y benzoatos para la inhibición de hongos.

Las desventajas del uso de estos sistemas son:

- ✓ La absorción de vapor de etanol por el producto alimenticio puede resultar en olores y sabores indeseables cuando la cantidad de etanol liberado dentro del empaque es muy alta. En algunos casos las concentraciones de etanol en los productos podrían causar problemas en su regulación. Sin embargo si el producto es calentado antes del consumo el etanol acumulado podría evaporarse a menos del 0.1 %, desapareciendo estas modificaciones organolépticas parcialmente (Devlieghere, 1999; Suppakul, 2003; Ozdemir, 2004).
- ✓ Otro inconveniente es el costo de los sobres, que limita su uso a productos con mayores márgenes de beneficio (Devlieghere, 1999). La efectividad del sistema generador de etanol principalmente depende del

tipo y tamaño del material soporte, la cantidad de etanol atrapado por el material soporte, la permeabilidad del material del sobre al vapor de agua y al etanol, la actividad del agua del alimento, y la permeabilidad al etanol de la película de envasado (Ozdemir, 2004).

En el caso de películas impregnadas de etanol, por lo general se requieren capas adicionales para mantener el etanol y para liberarlo de forma controlada, lo cual aumenta el costo de estos sistemas (Ozdemir, 2004).

El paso para introducir estos compuestos altamente volátiles en la pared del empaque no es simple ya que el proceso de elaboración de la película (solución de fundición o extrusión) resulta por la volatilización del compuesto y una atmósfera no respirable en la planta de producción. Una posible solución a este problema consiste en usar compuestos que atrapan las moléculas activas y disminuyan su volatilidad (López-Rubio, 2004). Los complejos de ciclodextrina han sido usados para estos propósitos, conservando sabores durante el proceso de extrusión. Algunos agentes antimicrobianos, esencias de sabor, esencias de rábano picante, y etanol han sido exitosamente encapsuladas en ciclodextrinas (Gavara, 2010; Gavara, 2011).

Las ciclodextrinas (CDs) son oligosacaridos ciclicos compuestos de varias unidades de glucosa unidos por enlaces  $\alpha$ -(1-4), con una estructura de anillo caracterizado por una superficie externa hidrofílica y una cavidad hidrofóbica. Esta estructura única permite a las CDs formar complejos de inclusión, atrapando todos o parte de una molécula "huesped" dentro de sus cavidades. Las moléculas de ciclodextrinas pueden unir compuestos alifáticos y aromáticos no polares de tamaño adecuado como compuestos aromáticos y medicamento lipofílicos (Gavara, 2010; Gavara, 2011). Cuando se exponen a condiciones de alta humedad después del envasado del producto alimenticio las ciclodextrinas tienen la capacidad de cambiar su estructura y liberar el agente volátil en la atmósfera que rodea al alimento (Gontard, 2008).

\* Para compuestos **no volátiles**, el contacto directo entre el empaque y la superficie el alimento es necesario y un proceso de migración desde el material de envasado es esperado (López-Rubio, 2004; Coma, 2008). Aunque la difusión de estos compuestos en las paredes del empaque afecta su liberación, el tipo y estado del alimento y el tipo de contacto es también crítico (López-Rubio, 2004). Los compuestos antimicrobianos no volátiles incluyen varios conservadores de alimentos tales como sorbatos, benzoatos, propionatos y parabenos, entre otros los cuales han sido reportados al ser capaces de inhibir o evitar el crecimiento bacteriano en solución, en medio de cultivo y muchos de los cuales son cubiertos por las regulaciones de la FDA de los U.S. (Coma, 2008; López-Rubio, 2004).

- Sales y ácidos orgánicos como el ácido benzoico, ácido propanoico y ácido sórbico junto con sus respectivas sales más solubles como sorbatos, y sus ácidos anhídridos los cuales son muy fuertes agentes antifúngicos mientras sus actividades antibacterianas no son efectivas. Los ácidos orgánicos tienen una sensibilidad característica a los microorganismos. Por lo tanto mezclas de ácidos orgánicos tienen un espectro antimicrobiano más amplio y actividad más fuerte que un ácido orgánico solo. Su buena solubilidad, estabilidad y facilidad de elaboración hacen al sorbato de potasio el compuesto más ampliamente usado en sistemas alimenticios (Coma, 2008).
- Algunas sustancias, tales como iones de cobre, plata y sales cuaternarias de amonio) son completamente inmovilizadas en la pared del empaque, y por lo tanto, ellas sólo protegen del deterioro microbiano por contacto directo con la superficie del alimento (Suppakul, 2003; López-Rubio, 2004). La zeolita sustituida con plata (Ag<sup>+</sup>) muestra características como agente antimicrobiano en películas, los cuales lentamente liberan iones de plata de la película plástica a la superficie del alimento (Day, 2008). La zeolita, la cual tiene algunos de sus átomos de superficie reemplazados por plata a niveles que varían de 1 a 3%, es laminada como una capa delgada (3-6  $\mu\text{m}$ ), debido a su

costo elevado, en la superficie de los polímeros en contacto con alimento y parece liberar iones plata como solución acuosa desde los alimentos que ingresa en las cavidades expuestas de la estructura porosa (Devlieghere, 1999; Quintavalla, 2002; López-Rubio, 2004; Coma, 2008). Una cantidad excesiva del agente puede afectar la fuerza de sellado y otras propiedades físicas tales como la transparencia (Suppakul, 2003). Los iones de Ag inhiben un rango de enzimas metabólicas teniendo así un amplio espectro y una fuerte actividad antimicrobiana contra bacterias, levaduras y hongos (Devlieghere, 1999; Quintavalla, 2002; Suppakul, 2003; López-Rubio, 2004; Kerry, 2006; Coma, 2008).

- Un desarrollo comercial interesante es la reciente comercialización de productos de cocina tales como tablas de picar, trapos de cocina que contienen triclosan, un compuesto antimicrobiano cloro-orgánico aromático que es también usado en jabones, champús, etc., así como agente antibacterial de entornos de hospital (Devlieghere, 1999; Quintavalla, 2002; López-Rubio, 2004; Coma, 2008). Esta protección se logra mediante la combinación de triclosan con cualquiera de los principales polímeros (PE, PP, PVC). El triclosan se ajusta en los espacios vacíos del polímero y migra a la superficie para comenzar su trabajo contra cualquier bacteria en desarrollo. Durante el lavado, las moléculas más cercanas a la superficie son limpiadas a distancia, pero son inmediatamente sustituidas por otras moléculas protectoras. El uso de triclosan para aplicaciones en contacto con alimentos ha sido recientemente permitido en países de EU mediante la Scientific Committee for Food en la décima lista adicional de monómeros y aditivos para materiales en contacto con alimentos con la restricción cuantitativa de migración de 5 mg/Kg de alimento (Quintavalla, 2002; López-Rubio, 2004; Coma, 2008).

- La hexametilentetramina (HMT) tiene actividad antimicrobiana usada en el envasado de alimentos. Su actividad antimicrobiana es debido a la formación de formaldehído cuando la película viene en contacto con un medio ácido. Tiene efecto principalmente sobre hongos. Comercialmente es sintetizado a partir del formaldehído y amoníaco (Suppakul, 2003).

Recientemente la prohibición de los aditivos químicos por parte de algunos consumidores ha impulsado a la investigación de la industria de alimentos a la búsqueda de compuestos antimicrobianos naturales. Numerosos agentes antimicrobianos existen en animales, plantas así como microorganismos donde a menudo se desarrollaron como mecanismos de defensa. Típicos ejemplos de estos compuestos son lactoperoxidasa (leche), lisozima (clara de huevo, higos), saponinas y flavonoides (hierbas y especias), bacteriocinas como nisina y lacticina (bacterias ácido lácticas (LAB)) y quitosan (conchas de camarón) (Devlieghere, 2004). Otros compuestos obtenidos de plantas son ácidos grasos, ácidos orgánicos (López-Rubio, 2004; Del Nobile, 2009). El uso de agentes **antimicrobianos de origen natural** es importante, ya que representan un menor riesgo percibido para el consumidor, además de satisfacer sus demandas de productos medianamente procesados o naturales (Skandamis, 2002; Suppakul, 2003; Kerry, 2006). La restricción más grande para el uso de agentes antimicrobianos naturales es el costo (Lee, 2010).

- Algunos ácidos grasos (ácido láurico y palmitoleico) exhibieron actividad inhibitoria contra bacterias de deterioro gram-positivas en carne (López-Rubio, 2004).

Saponinas, flavonoides y compuestos fenólicos obtenidos de especias clavo, canela, pimiento, romero y orégano o sus aceites esenciales. Estos compuestos de origen natural exhiben un amplio rango de efectos biológicos, incluyendo propiedades antioxidantes y antimicrobianas (Coma, 2008).

En el caso del aceite esencial de orégano, sus cuatro mayores constituyentes como porcentaje del contenido total son los fenoles carvacrol y timol y los hidrocarburos monoterpenos p-cimeno y c-terpineno. El carvacrol y el timol comprenden los principales componentes antimicrobianos mientras una posible acción antibacteriana sinérgica ha sido atribuida a los terpenos. El aceite de orégano presenta actividad tanto antimicrobiana como antioxidante (Roncalés, 2011).

Los aceites esenciales, de los que se extrae compuesto activos antimicrobianos como el cinamaldehído, obtenidos de clavo, canela, pimienta y romero muestran efecto inhibitorio contra tanto con bacterias de deterioro gram-positivas como gram-negativas (López-Rubio, 2004).

- Compuestos antimicrobianos derivados de semilla de toronja incorporada de 0.5-1% mediante proceso de co-extrusión en películas de polietileno multicapa reducen el crecimiento de bacterias aerobias, coliformes y levaduras (López-Rubio, 2004; Coma, 2008; Suppakul, 2003; Devlieghere, 1999).
- El alil isothiocianato (AITC) es un compuesto volátil y alifático que contiene azufre, que se encuentra naturalmente en el extracto del rábano picante (wasabi), mostaza negra y café, brocoli, rabano picante, col, coliflor, col rizada y nabos que es tanto bacterioestático como bacteriocida, pero incluso en bajas concentraciones, muestra sabor y olor intenso, limitando su aplicación a alimentos que son compatibles con el wasabi, tales como el sushi (Nielsen, 2000; Suppakul, 2003; López-Rubio, 2004; Markarian, 2006; Coma & Gontard, 2008). El alil isothiocianato existe en una forma precursora, el cual mediante destrucción celular es enzimáticamente hidrolizado para liberar la forma activa (Nielsen, 2000). Es usado como un antimicrobiano en envasado comercial en Japón, pero está limitado fuera de Asia por su fuerte sabor (Markarian, 2006).

- Diversas enzimas (lisozima, peroxidasa, glucosa oxidasa y péptidos (lactoferrina) han sido también probadas por su capacidad bacteriocida (López-Rubio, 2004; Lee, 2010). Su baja tolerancia a la temperatura restringe la aplicación de estos componentes a su adsorción en la superficie del polímero, o el revestimiento o fundición de soluciones (López-Rubio, 2004). La especificidad de las enzimas debe ser considerada cuidadosamente ya que la actividad antimicrobiana es muy sensible a sus alrededores y sustratos (Coma, 2008).

La lisozima, obtenida de huevo blanco e higos, ha sido probada sola o en combinación con extractos de planta, nisina, o EDTA en varias películas de polímero, incluyendo películas de polyvinil alcohol (PVOH), poliamida, triacetato de celulosa, alginato, y carragenina (López-Rubio, 2004; Coma, 2008). La lisozima inhibe la actividad enzimática contra el peptidoglicano de la pared celular de las bacterias Gram-positivas para limitar el crecimiento bacteriano (Coma, 2008). Los péptidos de beta-lactoglobulina fueron efectivos contra patógenos transmitidos por alimento (López-Rubio, 2004).

Las bacteriocinas son proteínas o péptidos antimicrobianos extracelulares sintetizados ribosomalmente los cuales tienen un efecto bacteriocida o bacteriostático sobre las bacterias estrechamente relacionadas, en particular con bacterias de deterioro de alimento Gram-positivas (Ohlsson, 19994; Scannell, 2000; Devlieghere, 2004; Coma, 2008). Son péptidos de bajo peso molecular, catiónicos, anfifílicos, estables al calor, aparentemente hipoalergénicos (Scannell, 2000; Coma, 2008). Estos agentes son producidos por las bacterias ácido lácticas, tienden a agregarse siendo así benignos para el organismo sin embargo son fácilmente degradables por enzimas proteolíticas en el tracto intestinal humano, otra característica que presentan es su susceptibilidad a la absorción en ingredientes alimenticios lo cual puede limitar su uso como agentes conservadores (Scannell, 2000; Coma, 2008).

Otros factores que limitan su actividad y aplicación es su espectro de actividad estrecho, su difusión limitada en matrices sólidas, la incidencia de pérdida de bacteriogenicidad del cultivo y la resistencia de los organismos objetivo (Devlieghere, 2004). Algunos ejemplos de estas son la pediocina, lacticina, nisina, etc. (Quintavalla, 2002; Lee, 2010). En casos donde el modo de acción es conocido, la membrana celular es usualmente el sitio de acción (Scanell, 2000). Las bacteriocinas podrían ser recubiertas o absorbidas a la superficie polimérica (Coma, 2008).

La nisina es una bacteriocina producida por *Lactococcus lactis*, es considerada un aditivo natural. Tiene una condición GRAS (o “generalmente reconocido como seguro”) y es particularmente efectivo contra importantes patógenos Gram-positivos de origen alimenticio, en especial para la prevención de crecimiento de *Clostridium botulinum* y *L. monocytogenes*, y los agentes de deterioro transmitidos por alimentos (López-Rubio, 2004; Coma, 2008).

La pediocina es producida por el cultivo de bacteria iniciadora de la fermentación de carne *Pediococcus acidilactici* se ha demostrado que es activo contra *L. monocytogenes* y otras bacterias patógenas Gram-positivas (Coma, 2008).

- Glucosinolatos presentes naturalmente en harina de mostaza sin calentar a niveles de 5-10% para eliminar patógenos (Coma, 2008).
- Tanto la reuterina (derivado deshidratado del glicerol) y la plantaricina (toxina producida por *Lactobacillus plantarum*) tienen una actividad antilistérica vigorosa (López-Rubio, 2004).

**Tabla 2.2.6.1 Productos comercializados a base de antimicrobianos naturales (Devlieghere, 2004)**

<b>Envase antimicrobiano comercial seleccionado que usa compuestos antimicrobianos naturales disponibles para aplicaciones en alimentos.</b>			
<b>Componente activo</b>	<b>Nombre comercial</b>	<b>Compañía productora</b>	<b>Formas de envase para aplicaciones en alimentos</b>
Alil isotiocianato	WasaOuto	LintecCorportation	Etiquetas sensibles a la presión, hojas
Glucosa oxidasa	Bioka	Bioka Ltd	Sobres
Vapor de etanol	Ethicap Negamold Fretek Oithech	Freund  Nippon Kayaku	Sobres
Dióxido de carbono	Freshpax Varifrais	Multisorb technology SARL Codimer	Sobres

**Tabla 2.2.6.2 Lista de compuestos naturales que han sido investigados para su uso en materiales de envasado activo antimicrobiano. Estudios experimentales (Coma, 2008).**

<b>Componente activo</b>	<b>Polímero/soporte</b>	<b>Sustrato</b>
Lisozima	PVOH, nylon, acetato de celulosa Película comestible	Medio de cultivo Medio de cultivo
Nisina	Película de celulosa, PE SPI, película de zeína de maíz, PE HPMC Recubrimiento de silicón Películas de zeína de maíz PVC, LDPE, nylon Películas de zeína de maíz SPI, WPI, WG, EA	Queso, jamón Medio de cultivo Tejido de carne de res Medio de cultivo Medio de cultivo Medio de cultivo Medio de cultivo Medio de cultivo Buffer de fosfato
Lacticina	Película de celulosa, PE	Queso, jamón
Pediocina	Celulosa	Carne cocida
Glucosa oxidasa	Alginato	Pescado
Ácido acético	Quitosan Quitosan	Agua Bologna, jamón cocida, pastrami
Ácido láctico	Alginato	Carne de res magra
Ácido sórbico	WPI	Medio de cultivo
Ácido propiónico	Quitosan Quitosan	Agua Bologna, jamón cocido y pastrami
Extracto de semilla de toronja	LDPE	Lechuga, germinado de soya
Hinokitiol	LDPE	Vegetales y frutas
Polvo de bambú	No estipulado	Productos de la pesca, vegetales
Tocoferol	LDPE	Carne de res

Abreviaciones: PVOH- alcohol polivinílico, PE- Polietileno, SPI- proteína de soya aislada, HPMC- hidroxipropil metil celulosa, PVC- cloruro de polivinilo, LDPE- PE de baja densidad, WPI- proteína de suero aislado, WG- gluten de trigo, EA- albúmina de huevo.

Además de la difusión y absorción equilibrada, algunos sistemas de envasado antimicrobiano utilizan la inmovilización de sustancias antimicrobianas por **enlace iónico o covalente** a polímeros (Han, 2000; Quintavalla, 2002; Suppakul, 2003; López-Rubio, 2004; Kerry, 2006). Algunas de las sustancias inmovilizadas covalentemente son antibióticos o fungicidas (imazalil y benomil) o grupos activos como son grupo amina. En este caso se utiliza la inhibición del crecimiento microbiano de la superficie por la inmovilización de la sustancia antimicrobiana de grado no alimenticio sin transferencia de masa difusional (Han, 2000; Quintavalla, 2002). Esto último se logra mediante métodos de modificación o acoplación química que previenen la transferencia o la migración de sustancias (Han, 2000; Quintavalla, 2002). La técnica de inmovilización requiere la presencia de grupos funcionales tanto en el antimicrobiano como en el polímero. Ejemplos de antimicrobianos con grupos funcionales son péptidos, enzimas, poliaminas, y ácidos orgánicos. Además, el uso de moléculas “separadoras” que enlazan la superficie del polímero con el agente bioactivo puede también ser requerido. Los separadores que podrían ser potencialmente usados para envase antimicrobiano de alimento incluyen dextranos, polietilen glicol, etilendiamina y polietilenimina, debido a su baja toxicidad y uso común en alimentos (López-Rubio, 2004).

Más recientemente, algunos polímeros antimicrobianos han sido desarrollados a base de la aplicación de **derivados de porfirina**. Estas moléculas muy grandes son inmovilizadas en una película de polímero. La exposición de dicha película a la luz resulta en especies de oxígeno muy reactivo. El oxígeno singlete reacciona con una variedad general de biomoléculas convirtiéndose en letal para muchos microorganismos. Estas moléculas de oxígeno reactivo son liberados de la película y pueden presentar actividad bactericida en el producto alimenticio. Una mayor preocupación de estas películas es su potencial actividad oxidativa en alimentos, lo cual puede llevar a una rápida pérdida de calidad (López-Rubio, 2004).

Otra posibilidad para obtener polímeros antimicrobianos es mediante **modificación de sus superficies** por introducción de grupos funcionales con actividad

antimicrobiana, mediante métodos químicos, en películas poliméricas con el propósito de prevenir la transferencia de los agentes antimicrobianos desde el polímero al alimento (Devlieghere, 1999; Suppakul, 2003; López-Rubio & Ozdemir, 2004; Coma, 2008; Nel Nobile, 2009). También éstas técnicas pueden mejorar las propiedades funcionales de las películas de envasado (Lee, 2010).

La **irradiación electrónica** es un método de modificación de las superficies, de modo que contendrá grupo amina que mata a los microorganismos por contacto (Quintavalla, 2002; Ozdemir, 2004). Un método de irradiación electrónica consiste en tratamientos UV que hace uso de un laser Excimer UV. Las películas de nylon (6,6) irradiadas usando un laser excimer UV a 193 nm en aire posee actividad antimicrobiana, que resulta de la conversión de grupos amida en la superficie del nylon a aminas, que como ya se mencionó tiene propiedades bacteriocidas, que están todavía unidas en la cadena del polímero (Devlieghere, 1999; Quintavalla, 2002; Suppakul, 2003; López-Rubio & Ozdemir, 2004).

No sólo la irradiación electrónica o tratamientos UV pueden ser usados para la modificación de superficies de películas, también tienen lugar en este tipo de métodos los **tratamientos de plasma** (Quintavalla, 2002; Coma, 2008). Los tratamientos de plasma son una opción para mejorar la adhesión, la capacidad de sellado, la capacidad de mojado, la capacidad de impresión, y la limpieza de la superficie, entre otras características del polímero (Quintavalla, 2002; Lee, 2010). Este tratamiento también ha sido usado para mejorar las propiedades de barrera de los polímeros plásticos, películas y para impartir a las películas propiedades antimicrobianas. Los tratamientos de plasma con el objetivo de destruir microorganismos comparados con los métodos de esterilización convencional como el uso de autoclave o el dióxido de etileno, son una prometedora alternativa particular para productos alimenticios envasados los cuales necesitan mantenerse estériles después del procesado. Los tratamientos de plasma proporcionan envases antimicrobianos no migratorios o en paquete de procesamiento por una inmovilización covalente sólida de los compuestos sólidos en el envase. Por ejemplo,

se ha encontrado que la permeabilidad al  $O_2$ ,  $CO_2$  y  $N_2$  de películas de LDPE y HDPE podría ser considerablemente reducido mediante tratamiento de plasma-Ar. El tratamiento de plasma indujo el entrecruzamiento de las cadenas de polímero lo que resulta en propiedades de barrera mejoradas (Lee, 2010).

Otra aplicación de la modificación de superficie inducida por láser es la oxidación de  $O_2$  a  $O_3$ . La irradiación UV, al igual que la producida por un láser Excimer UV en una longitud de onda apropiada, puede ser usada para oxidar  $O_2$ , previamente absorbido en una capa de la superficie modificada, a  $O_3$  por medios fotoquímicos. El  $O_3$  formado puede luego ser absorbido o sometido a la liberación controlada desde la matriz polimérica al interior del empaque. Incluso concentraciones de ppm de  $O_3$  son suficiente para inhibir el crecimiento microbiano y su enfoque podría significativamente superar la necesidad de contacto directo entre el alimento y la película antimicrobiana para ser efectivo (Quintavalla, 2002).

La modificación de superficies de películas mediante tratamientos de plasma ha ganado considerable atención en el área de envasado de alimentos como métodos para mejorar la adhesión, capacidad de sellado, humectabilidad y otras características de los polímeros. Por ejemplo, los plasmas a base flúor pueden ser usados para formar una capa de superficie fluorada en superficies poliméricas de envasado de alimento, y las propiedades antimicrobianas de halógenos han sido conocidos por años (Quintavalla, 2002).

**Tabla 2.2.6.3 Ejemplos de agentes antimicrobianos para su uso potencial en materiales de envasado de alimento (Suppakul, 2003)**

Clases	Ejemplos	Clases	Ejemplos
Ácido anhídrido	Anhídrido benzoico Anhídrido sórbico	Ester de ácido graso	Monolaurina (lauridicina)
Alcohol	Etanol	Fungicida	Benomil Imazalil Dióxido de azufre
Amina	Hexametilentetramina (HMT)	Ácido inorgánico	Ácido fosfórico
Compuesto de amonio	Sal cuaternaria de amonio silicón	Metal	Cobre Plata
Antibiótico	Natamicina	Misceláneo	Reuterina
Péptido antimicrobiano	Attacin Cecropin Defensin Magainin	Fenol natural	Catequina p-Cresol Hidroquinonas
Antioxidante fenólico (1)	Butilhidroxianisol (BHA) Butilhidroxitolueno (BHT) Tert-Butilhidroquinona (TBHQ)	Oligosacárido	Quitooligosacárido
Bacteriocina	Bavaricina Brevicina Carnocina Lacticina Mesenterocina Nisina Pediocina Sakacin Subtilina	Ácido Orgánico	Ácido acético Ácido benzoico Ácido cítrico Ácido láctico Ácido málico Ácido propiónico Ácido sórbico Ácido succínico Ácido tartárico
Quelante	Citrato Conalbumina EDTA Lactoferrina Polifosfato	Sal de ácido orgánico	Sorbato de potasio Benzoato de sodio
Enzima	Quitinasa Etanol oxidasa β-Glucanasa Glucosa oxidasa Lactoperoxidasa Lisozima Mieloperoxidasa	Parabeno	Etil parabeno Metil parabeno Propil parabeno
Ácido graso	Ácido laúrico Ácido palmitoleico	Componente volátil de planta	Allil isotiocianato (AIT) Carvacrol Cineol Cinamaldehido Citral p-Cimeno Estragol (metil chavicol) Eugenol Geraniol Hinokitiol (b-thujaplicina) Linalool Terpineol Thymol
Polisacárido	Quitosan Konjac glucomannan		

(1) Aunque generalmente usados como antioxidantes, ellos han mostrado también actividad antimicrobiana

**Tabla 2.2.6.4 Algunas aplicaciones típicas de sistemas de envase antimicrobiano. Combinaciones de envase antimicrobiano para alimentos (Han, 2000).**

Agente antimicrobiano	Material del envase	Alimentos	Agente antimicrobiano	Material del envase	Alimentos
<b>ACIDO ORGÁNICO</b>			<b>ALCOHOL/TIOL</b>		
Sorbato de potasio	LDPE LDPE MC/ácido palmítico MC/HPMC/ác. graso MC/quitosan Almidón/glicerol	Queso Medio de cultivo Medio de cultivo Medio de cultivo Medio de cultivo Pechuga de pollo	Etanol	Sobre de sílica gel  Sobre de óxido de silicón	Medio de cultivo  Productos de panadería
Sorbato de calcio	CMC/papel	Pan	Hinokitíol	Ciclodextrina/Plástico	-----
Ácido propiónico	Quitosan	Agua	<b>ABSORBEDOR DE OXÍGENO/ANTIOXIDANTES</b>		
Ácido acético	Quitosan	Agua	Complejo de hierro reducido	Sobre	Pan
Ácido benzoico	PE-co-MA	Medio de cultivo	BHT	BHT	BHT
Benzoato de sodio	MC/Quitosan	Medio de cultivo	<b>GAS</b>		
Ácido anhídrido sórbico	PE	Medio de cultivo	CO2	Sobre de hidróxido de calcio -----	Café  Fruta/vegetal
Ácido anhídrido benzoico	PE	Filete de pescado	SO2	Metabisulfito de sodio	Uva
<b>PÉPTIDO/PROTEÍNA/ENZIMA</b>			<b>FUNGICIDAS Y BACTERIOCINAS</b>		
Lisozima	PVOH, acetato de celulosa. Película de SPI, películas de zeína de maíz.	Medio de cultivo  Medio de cultivo	Imazalil	LDPE LDPE	Pimienta campana Queso
Glucosa oxidasa	Alginato	Pescado	Benomil	Ionómero	Medio de cultivo
Alcohol oxidasa	-----	-----	Nisina (péptido)	Recubrimiento de silicón SPI, películas de zeína de maíz	Medio de cultivo  Medio de cultivo
<b>OTROS</b>					
Irradiación UV	Nylons	Medio de cultivo			
Zeolita de plata	LDPE	Medio de cultivo			
Extracto de semilla	LDPE	Germen de frijol de soya			
<b>LDPE= Polietileno de baja densidad; MC= Metil celulosa; HPMC= Hidroxipropil MC; CMC= Carboxil MC; PE= Polietileno; MA= Ácido metacrílico; SPI= proteína de soya aislada; PVOH= alcohol polivinílico; BHT= Butilhidroxitolueno; HDPE= Poliestireno de alta densidad</b>					

**Tabla 2.2.6.5 Nombres comerciales y fabricantes de materiales antimicrobianos  
(Suppakul, 2003)**

<b>Formato</b>	<b>Nombre comercial</b>	<b>Fabricante</b>
<b>Concentrado</b>	AglON™	AglON Technologies LLC (USA)
	Apacider-A®	Sangi Co. (Japan)
	MicroFree™	DuPont (U.S.A.)
	Microban®	Microban Products (U.S.A.)
	Novaron®	Milliken Co. (U.S.A.)
	Sanitized®	Sanitized AG / Clariant (Switzerland)
	Surfacine®	Surfacine Development Co. (U.S.A.)
	Ultra-Fresh®	Thonson Research Associates (Canada)
	Zeomic®	Shiranan New Ceramics Co. (Japan)
<b>Extracto</b>	Citrex™ (Grapefruit seed)	Quimica Natural Brasileira Ltd. (Brazil)
	Nisaplin® (Nisin)	Integrated Ingredients (U.S.A.)
	Take Guard (Bamboo)	Takex Co. (Japan)
	WasaOuro® (Mustard)	Green Cross Co. (Japan)
	<b>Película</b>	MicroGard™
Platech		Daikoku Kasei Co. (Japan)

El envase antimicrobiano puede jugar un rol importante en la reducción de riesgos de contaminación por patógenos, así como en la extensión de la vida de anaquel de alimentos (López-Rubio, 2004). Ellos deben reducir el crecimiento microbiano de alimentos no estériles o mantener la estabilidad de alimentos pasteurizados sin post-contaminación. Aunque la mayor parte de los productos alimenticios perecederos empacados son esterilizados por calor tienen un sistema inmune de auto protección, la contaminación microbiana podría ocurrir en la superficie o el área dañada del

alimento a través de defectos de empaque o almacenamiento después de la apertura (Han, 2000).

La actividad antimicrobiana de los materiales de envasado podría determinarse mediante experimentos microbiológicos (Han, 2000; Coma, 2008).

De acuerdo con Devlieghere (1999); Han (2000); Quintavalla, 2002; Suppakul (2003); Devlieghere, López-Rubio & Ozdemir, (2004); Markarian (2006); Coma (2008) un número de factores se deben de considerar en el momento del diseño o el modelado de una película antimicrobiana o empaque, además de su aplicación ya que cuando un agente antimicrobiano es añadido a un material de envasado puede afectar las propiedades físicas-mecánicas inherentes del último:

\* Naturaleza química de las películas/recubrimientos, las condiciones del proceso de fundición y la actividad antimicrobiana residual. La selección del antimicrobiano está a menudo limitada por la labilidad al calor del componente durante la extrusión o por la incompatibilidad del componente con el material del envase. La actividad antimicrobiana de una sustancia activa incorporada puede ser deteriorada durante la fundición (película o contenedor), conversión, y/o almacenamiento y distribución del material del envase. Por esta razón es necesario conocer la actividad antimicrobiana residual, que es la actividad efectiva de los agentes antimicrobianos utilizados para el envasado antimicrobiano de películas finales después de los procesos de fundición y conversión.

El mayor deterioro de la actividad puede ocurrir durante el proceso de extrusión usando altas temperaturas, fuerza de corte, y presión. Durante la extrusión de las resinas plásticas, las condiciones de presión y la temperatura alta en la extrusora afectan la estabilidad química de las sustancias antimicrobianas incorporadas y reducen su actividad antimicrobiana residual. La temperatura, la presión y el tiempo de residencia en la extrusora deben ser cuantificados matemáticamente para predecir la actividad antimicrobiana residual.

Los efectos de las operaciones de conversión tales como procesos de laminación, impresión, secado, almacenamiento y los efectos los químicos usados (adhesivos y solventes) deberán ser caracterizados cuantitativamente ya que también pueden afectar la actividad antimicrobiana del envase. Además de la degradación química, la pérdida de compuestos antimicrobianos volátiles es igualmente una razón para la pérdida de actividad antimicrobiana durante la fundición (extrusión o revestimiento) y el almacenamiento de los materiales de envasado.

\* Características de las sustancias antimicrobianas y alimentos. Los componentes del alimento afectan significativamente la efectividad de las sustancias antimicrobianas, su liberación y transferencia. Los factores bioquímicos que afectan las características de transferencia de masa de las sustancias antimicrobianas incluyen la actividad antimicrobiana y el mecanismo/cinética de las sustancias seleccionadas para los microorganismos blanco. Estudios sobre estos factores proporcionan información sobre la cantidad exacta y la tasa de liberación de las sustancias antimicrobianas requeridas para lograr un efecto dado. Las cinéticas de liberación deben ser diseñadas para controlar las cinéticas de crecimiento y mantener la concentración antimicrobiana por encima de la concentración crítica inhibitoria con respecto a los microorganismos contaminantes que sea probable que se encuentren. Un modelo matemático de crecimiento microbiano puede ser construido a partir de las cinéticas y los mecanismos de inhibición.

Ya que los alimentos tienen diferentes características químicas y biológicas tales como pH, actividad del agua, fuente de carbono, fuente de nitrógeno, presión parcial de oxígeno, y temperatura, estos proporcionan diferentes condiciones al medio ambiente de los microorganismos e incluyen agentes antimicrobianos.

Por ejemplo, el pH del alimento afecta la microflora, la tasas de crecimiento de microorganismos blanco y altera la ionización (disociación/asociación) de la mayor parte de los químicos activos, que podrían cambiar la actividad antimicrobiana.

La actividad del agua también altera la actividad antimicrobiana y la estabilidad química de sustancias activas incorporadas así como la microflora.

El oxígeno en el espacio de cabeza del empaque puede ser utilizado por microorganismos aerobios, y la permeabilidad al oxígeno de los materiales del empaque puede alterar la concentración de oxígeno en el espacio de cabeza.

Por lo tanto, es esencial estudiar el pH y la actividad del agua del alimento, la permeabilidad al oxígeno del material del empaque, y el perfil microbiano para diseñar los sistemas de envasado antimicrobiano.

\* Interacción química de los aditivos con la matriz de la película. Durante la incorporación de aditivos en un polímero, la polaridad y el peso molecular del aditivo debe ser tomado en consideración debido a su compatibilidad. Además, el peso molecular, la carga iónica y la solubilidad de diferentes aditivos afectan sus tasas de difusión en el polímero.

\* Temperatura de almacenamiento. La temperatura puede cambiar la actividad antimicrobiana de los conservadores químicos. Generalmente, la temperatura de almacenamiento incrementada puede acelerar la migración de los agentes activos en las capas de las películas/recubrimientos, mientras que la refrigeración retrasa la tasa de migración. La combinación de tratamiento térmico, la temperatura de almacenamiento y de conservación pueden tener un efecto sinérgico a causa del calor aumentando la sensibilidad química de los microorganismos. Las condiciones de temperatura durante la producción y distribución deben predecirse para determinar el efecto del calor sobre la actividad residual antimicrobiana de los compuestos.

\* Coeficientes de Transferencia de Masa. Los modelos matemáticos del proceso de transferencia de masa por difusión podrían permitir la predicción del perfil de liberación del agente antimicrobiano y el tiempo de duración en el cual el agente permanezca por encima de la concentración crítica de inhibición, así la seguridad de

la vida útil de los alimentos puede ser calculada. La difusividad en el alimento también afecta al perfil de difusión general de la sustancia activa, así como la difusividad en el material de empaque.

\* Propiedades Físicas de Materiales de Envase. Cuando la actividad antimicrobiana es añadida a materiales de envase para reducir el deterioro microbiano, se puede afectar las propiedades físicas generales y el proceso/maquinabilidad de los materiales de envasado. Las propiedades generales de los materiales del envase incluyen propiedades mecánicas tales como fuerza de tensión, elongación, fuerza a la explosión, resistencia al rasgado, rigidez y propiedades físicas tales como permeabilidad al oxígeno (y otros gases), permeabilidad al vapor de agua, capacidad de humectación, capacidad de absorción de agua, resistencia a grasa, brillo, neblina, brillo, transparencia, y otras.

El rendimiento de los materiales de envase debe ser mantenido con la adición de las sustancias activas, aunque los materiales contienen más formulaciones heterogéneas. En el caso de plásticos, los agentes activos son usualmente químicos de muy bajo peso molecular comparados al tamaño de los estructuras poliméricas y son añadidos en pequeñas cantidades. En un sistema de envase antimicrobiano correctamente diseñado, los químicos se colocarán en las regiones estructurales amorfas de la estructura polimérica y no pueden afectar la fuerza mecánica de los materiales del envase polimérico.

Considerando el gran tamaño del área amorfa de los materiales poliméricos (o área porosa de los papeles) al tamaño relativamente pequeño de las moléculas antimicrobianas, una gran cantidad de la sustancia antimicrobiana puede no necesariamente mostrar cualquier efecto sobre la fuerza de tensión de los materiales de envase. Sin embargo, después que el área amorfa de los polímeros y el área porosa de los papeles son saturados por una alta concentración o grandes partículas de polvo de químicos antimicrobianos, la fuerza de tensión de los materiales antimicrobianos podría ser adversamente afectado.

\* Los cambios en las propiedades organolépticas y de textura del alimento cuando es añadida la sustancia antimicrobiana.

\* El costo. No existen datos publicados sobre el costo de películas impregnadas con agentes antimicrobianos, pero se espera que sean más costosos que sus contrapartes básicas.

Como las tasas de crecimiento y muerte de las bacterias variarán por cada medio de crecimiento, las conclusiones sobre como las películas antimicrobianas funcionarán con un producto alimenticio debe ser determinado para cada aplicación alimentaria (Quintavalla, 2002).

#### **Ventajas del uso de sistemas antimicrobianos:**

\* Son una alternativa a métodos tradicionales de conservación de alimentos como procesamiento térmico, secado, congelación, refrigeración, irradiación, MAP y adición de agentes antimicrobianos o sales, los cuales no pueden ser aplicados a algunos productos como alimentos frescos (Quintavalla, 2002; Kerry, 2006; Coma, 2008).

\* Si los materiales de envasado tienen la capacidad de autoesterilizarse a causa de su propia actividad antimicrobiana, esto puede eliminar la necesidad del empleo de esterilización química de los empaques (peróxido), simplificando así el proceso de envasado aséptico (Han, 2000; Suppakul, 2003).

\* Pueden resultar más aceptables a los consumidores mientras ningún etiquetado es requerido, trabajando con la ventaja de los productores (Lee, 2010).

#### **Desventajas del uso de sistemas antimicrobianos:**

\* La eficiencia de estos sistemas ha sido limitada ya que esta se ve afectada por factores como temperatura, niveles de humedad, la química del agente

antimicrobiano y la manera en que es liberado el agente antimicrobiano (Markarian, 2006; Coma, 2008).

\* Inestabilidad de los componentes activos durante la extrusión de los materiales de envasado (Devlieghere, 2004; Coma, 2008; Del Nobile, 2009).

\* La cantidad limitada de masa disponible en el material de embalaje para ser transferido al producto alimenticio (Devlieghere, 2004).

\* El problema más significativo es que la mayor parte de las sustancias antimicrobianas usadas actúan sólo en la superficie siendo que la mayor actividad microbiana con frecuencia ocurre debajo de ésta (Devlieghere, 2004; Markarian, 2006).

\* Factores secundarios adversos con el empleo de algunos antimicrobianos como son el cambio de olor o color del producto si la liberación del material de envasado no es propiamente controlada (Markarian, 2006; Coma, 2008; Lee, 2010).

\* Su uso es controversial debido a las preocupaciones que derivan de su capacidad para enmascarar raciones de deterioro naturales y por lo tanto engaña a los consumidores sobre las condiciones del alimento empacado (Day, 2008).

\* El uso de aditivos antimicrobianos en películas de envasado y superficies de contacto puede dar a los elaborados de alimentos y a los consumidores una falsa sensación de seguridad, debilitar las prácticas de limpieza, desinfección tradicional (Day, 2008).

\* El uso de agentes antimicrobianos en las tecnologías de envasado lleva el riesgo de desarrollo de resistencia antimicrobiana (Day, 2008; Restuccia, 2010).

\* La proporción del costo-beneficio del empleo de estos sistemas es un factor limitante para el crecimiento comercial de estas tecnologías. La comercialización de estos sistemas podría por lo tanto ser viable solamente para productos alimenticios de alto valor (Suppakul, 2003; Markarian, 2006; Lee, 2010).

### 2.2.7 SISTEMAS LIBERADORES DE ANTIOXIDANTES.

La oxidación es una reacción en cadena, es decir, una vez iniciada aún más acelera la oxidación de sustancias sensibles. Esto es un complejo proceso que ocurre en etapas: inicial, auto-oxidación y fase final. Durante cada etapa productos indeseables, propios de la reacción de oxidación, son formados en tasas fluctuantes. La oxidación de lípidos en alimentos lleva a la reducción en la vida de anaquel debido a los cambios en sabor y/o olor, deterioro de la textura, funcionalidad del producto y una reducción en la calidad nutricional (Cruz, 2010).

Los antioxidantes son ampliamente usados como aditivos alimentarios para mejorar la estabilidad de oxidación de lípidos y para prolongar la vida útil, principalmente para productos secos y alimentos sensibles al O<sub>2</sub> (Devlieghere, 1999). Estos son añadidos al alimento para retrasar el inicio de la oxidación o frenar la tasa del mismo en el producto mediante la inhibición o interrupción del mecanismo de auto-oxidación lipídica de los radicales libres (Cruz, 2010, 2011). La incorporación de los agentes antioxidantes en el envasado puede usar una variedad de enfoques tecnológicos. La mayoría de ellos consisten ya sea del mezclado directo de un agente antioxidante con los materiales plásticos o la co-extrusión del antioxidante junto con el material plástico que forma la película (Roncalés, 2011). Los antioxidantes, al ser incorporados en películas de plástico logran la estabilización polimérica con el fin de proteger la película de la degradación (Devlieghere, 1999). Algunos antioxidantes actúan como recolectores de radicales mientras otros liberan compuestos orgánicos oxidables los cuales inhiben la oxidación del alimento y subsecuentemente el deterioro del producto (Salafranca, 2008; Cruz, 2010; Cruz, 2011).

Devlieghere (1999); Ozdemir (2004); Roncalés, (2008); Lee (2010); Yemenicioğlu, Roncalés, Cruz (2011) mencionan que los antioxidantes más usados son:

- BHA, BHT, TBHQ, PG
- Mono-fenoles, fenoles ( $\alpha$ -tocoferol)

- Ácido ascórbico
- Extractos (hierbas y especias)
- Glucosa oxidasa

Previenen:

- Rancidez
- Deterioro de aroma y sabor
- Formación de malos olores y sabores de alimentos
- Deterioro de color

Los antioxidantes sintéticos más comúnmente usados en la industria de alimentos son butilhidroxitolueno (BHT), butilhidroxianisol (BHA), propilgalato (PG) (Cruz, 2010). Sin embargo ha habido algunas preocupaciones del consumidor con respecto a los efectos fisiológicos del BHT debido a su tendencia a acumularse en el tejido adiposo humano (Devlieghere, 1999). Actualmente se sabe que los antioxidantes sintéticos usados en productos alimenticios también pueden ser promotores de cáncer (Roncalés, 2008; Cruz, 2010). Esto debe ser tomado en cuenta en el envasado activo ya que la migración desde los materiales en contacto con alimento no es despreciable, incluso la concentración de migrantes en el alimento puede plantear a las sustancias usadas como aditivos alimentarios directos (Cruz, 2010). Su uso se está limitando también debido al rechazo general de los aditivos alimenticios sintéticos por los consumidores (Roncalés, 2008).

Por lo anterior es deseable encontrar antioxidantes naturales que son preferidos por los consumidores al percibirlos como inofensivos, seguros e incluso benéficos para la salud (Devlieghere, 1999; Salafranca, 2008; Cruz, 2010). Los compuestos naturales con propiedades antioxidantes incluyen tocoferoles, lecitina, ácidos orgánicos y extractos de hierbas y especias (López-Rubio, 2004).

Los aceites esenciales o extractos de varias plantas, hierbas y especias tales como romero, canela, orégano, té, vino tinto, cerveza, clavo, arándano, mostaza y salvia

son por mucho los más usados debido a que son bien conocidas tanto sus propiedades antioxidantes como antimicrobianas (Roncalés & Salafranca, 2008; Cruz, 2010; Cruz & Roncalés, 2011). Un potente compuesto fenólico ha sido aislado del extracto de orégano siendo el ácido rosmarínico el más abundante, además de que pueden ser obtenidos de este mismo aceite los antioxidantes fenólicos cavacrol, timol, los hidrocarburos monoterpenos p-cimeno y c-terpineno (Roncalés, 2011). Otro extracto del que pueden obtenerse compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes es el de romero (Roncales, 2008). Estos compuestos fenólicos rompen la reacción en cadena de radicales libres mediante la aceptación de estos y la donación de átomos de hidrógeno, terminando así la oxidación en la etapa inicial. (Roncales, 2008; Cruz, 2010; Cruz, 2011). El compuesto formado en esta reacción es estable, no está dividido en otros y no son divididos en otros compuestos que aquellos responsables de la pérdida de sabor u olor, o que actúa mediante más oxidación de lípidos (Cruz, 2010; Cruz, 2011). Otros potentes antioxidantes que se encuentran tanto en el extracto de orégano y el romero son el ácido p-curámico, ácido cafeico (Roncalés, 2008).

Otros compuestos naturales recientemente sugeridos para su integración en películas de polímero para ejercer su efecto antioxidante son las vitaminas E ( $\alpha$ -tocoferol) y C (ácido ascórbico) (Devlieghere, 1999). La vitamina E ha mostrado en investigaciones ser un antioxidante tan efectivo comparado con BHT, BHA u otros antioxidantes poliméricos sintéticos para inhibir la degradación de la película durante la extrusión de la misma o del moldeado por soplado (López-Rubio, 2004; Day, 2008). Otra ventaja que presenta la incorporación de vitaminas E y C en los materiales plásticos comparado con la adición de antioxidantes sintéticos es que una posible migración de estos compuestos en el alimento no solo no produce efectos adversos, sino también mejora las características nutrimentales del producto alimenticio (López-Rubio, 2004). La vitamina E ha probado ser muy estable bajo condiciones de procesamiento y tiene un excelente solubilidad en poliolefinas. Está confirmado, sin embargo, que la vitamina E es un antioxidante menos móvil en LDPE

que el BHT, ya que la vitamina E es una molécula más grande (Devlieghere, 1999; López-Rubio, 2004). Debido a lo anterior el éxito del concepto de envasado activo basado en la liberación de vitamina E es difícil de evaluar a través de simulantes de alimentos (Devlieghere, 1999).

Aunque varios métodos analíticos están bien establecidos para la evaluación de la actividad antioxidante de las sustancias activas, durante la elaboración de envasado a base de plástico las altas temperaturas y las condiciones agresivas ocurren, causando que los ingredientes activos puedan ser enormemente reducidos, transformados o incluso completamente eliminados. De esta forma, materias primas muy prometedoras pueden resultar en empaques finales con protección débil o sin actividad. Por esta razón, la determinación de la capacidad antioxidante del envasado activo real es fundamental para una selección adecuada del envase más apropiado para cada producto alimenticio (Salafranca, 2008).

Es importante también evaluar el comportamiento antioxidante de un envase activo de alimento durante un determinado periodo de tiempo ya que concentraciones de antioxidantes en películas poliméricas decrecen durante el almacenamiento debido a la oxidación pero también por difusión a través de la mayor parte del polímero hacia la superficie seguido por evaporación (Devlieghere, 1999; Salafranca, 2008).

La cantidad de antioxidante añadido al polímero debe ser controlado ya que niveles altos de antioxidante incorporado a la película puede alterar las propiedades del polímero (López-Rubio, 2004)

Este tipo de envasado activo está todavía en la etapa experimental y pocas aplicaciones comerciales son sabidas (Devlieghere, 1999).

## **2.2.8 SISTEMAS EMISORES Y RECOLECTORES DE AROMA Y SABOR**

El intercambio de sabores, o permeación de componentes del aroma, puede resultar en una pérdida de la intensidad del aroma y/o un cambio en las propiedades organolépticas del producto (Devlieghere, 1999; López-Rubio, 2004). Otra cosa que ocurre es que durante la distribución y almacenamiento de los productos alimenticios, tienen lugar numerosas reacciones de deterioro, tales como óxido de lípidos o glicólisis anaerobia, que puede dar como resultado la formación de compuestos inofensivos que aportan algún olor o sabor pudiendo causar el rechazo del producto si no se eliminan adecuadamente. Otros olores indeseables pueden ser generados por los materiales del envase especialmente en los materiales de plástico. Específicamente, en los materiales plásticos, algunos componentes de poliolefina tienden a romperse u oxidarse en cadenas pequeñas, componentes de hidrocarburo olorosos durante el procesado de plástico. La presencia de estos compuestos puede ser minimizada usando antioxidantes o por la incorporación de un absorbente en el polímero durante el tratamiento del material (López-Rubio, 2004).

La emisión o absorción de olores y sabores en el alimento puede influir positivamente en la calidad del producto y en su aceptación por parte del consumidor (Devlieghere, 1999).

### **2.2.8.1 EMISORES DE AROMA**

La incorporación de aromas de alimentos deseables en el material de envasado puede ser usado para compensar el intercambio de aromas, enmascarar malos olores que vienen del alimento, encapsular aromas agradables (que pueden ser liberados con la abertura del producto) o incluso mejorar la calidad organoléptica del alimento atrayendo de esta forma a los consumidores (Devlieghere, 1999; López-Rubio, Ozdemir, 2004).

Los plásticos usados comunmente para la liberación de aromas son PE, PP, EVA, ionómero, nylon, poliéster y cloruro de polivinilo. También se encuentran en el mercado el uso de almidón modificado y ciclodextrina. Estos materiales contienen el compuesto volátil o aditivo fragancia (sintético o aceite esencial) el cual puede ser añadido al polímero fundido, y es atrapado usando polímeros microporosos como es una matriz de resina termoestable. Los procesos usados para la preparación de estos plásticos activos son moldeo por inyección, soplado de película y fundición, extrusión de hoja, espumoso, adhesivos de fusión en caliente, y revestimiento de fusión en caliente (López-Rubio, 2004).

Las emisiones de aroma de plásticos presentan algunos problemas que deben ser superados. Entre ellos, las temperaturas de tratamiento en los que las líneas de extrusión operan (o cualquier otro proceso de modelado de empaque) no permite la incorporación de aromas a los niveles adecuados requeridos para permitir emisiones más tarde. El aroma que deriva de la volatilización durante la extrusión tiende a impregnar la planta entera, necesitando así el aislamiento del extrusor de película para evitar la contaminación en la operación de fabricación entera con aromas que puedan ser indeseables para la mayor parte de las aplicaciones. La contaminación puede también ocurrir durante las operaciones de envasado afectando los productos, equipo, y operadores cercanos (López-Rubio, 2004).

Existen varios tipos de plásticos emisores de aroma en el mercado. Por ejemplo, Japan Liquid Crystal Corporation comercializa un almidón modificado, ciclodextrina, que contiene el compuesto volátil y ambos son moldeados con un plástico permeable. La ciclodextrina es limitada a un rango de tratamiento de 140°C a 230°C. El uso de tales compuestos para encapsular los compuestos volátiles facilita la fabricación de emisores de aroma, ya que de otra manera la mayor parte del aroma añadido podría ser liberado durante la formación del empaque en dichas temperaturas altas empleadas. (López-Rubio, 2004).

Los aditivos fragancia (sintéticos o aceites esenciales naturales) pueden ser usados para añadir un aroma a un artículo o para enmascarar olores de plástico indeseables. Estos compuestos son añadidos a las resinas termoplásticas durante el tratamiento en pellet o en forma de polvo. La fragancia es añadida al polímero fundido, y es atrapado usando polímeros microporosos como esponja o una matriz de resina termoestable. La liberación de la fragancia del empaque depende del grosor del plástico, su proporción del área de superficie a volumen, la composición, y la cantidad de sustancia incluida en el plástico. Esta tecnología también es usada por TechniChem, Inc., que introduce concentrados de fragancia seca útil para uso en compuestos plásticos. Las fragancias típicas incluyen limón, lima, cereza, y chocolate (López-Rubio, 2004).

En el envasado de alimento y bebida, las fragancias incorporadas están siendo usadas como una herramienta de mercado para crear conciencia de los consumidores y para mejorar la imagen de la marca. Los propietarios de la marca están muy interesados en el uso de fragancias para mejorar el aroma, sabor, y vida útil de productos alimenticios y bebidas. En productos tales como shampoo o detergentes, las fragancias están siendo añadidas a los cierres de modo que los consumidores pueden probar un aroma del producto sin romper ni manipular evidentemente los sellos que protegen al producto. En farmacéuticos y nutracéuticos, las fragancias añadidas en una pared del contenedor o el bote desecante pueden enmascarar olores desagradables de medicinas o vitaminas (Markarian, 2006).

#### **2.2.8.2 RECOLECTORES DE SABORES**

Por lo general la absorción de sabores es perjudicial para la calidad del alimento tanto la absorción de sabores del alimento por el envase como también la absorción sabores del envase por el alimento ya que puede resultar en la pérdida de sabores del producto o puede provocar cambios en el perfil organoléptico del mismo. Sin

embargo la absorción de sabores podría aprovecharse positivamente para eliminar selectivamente olores y sabores no deseados (Devlieghere, 1999).

Numerosos componentes de alimentos no deseados podrían ser eliminados por medio de interacciones específicas con compuestos del envase o mediante reacciones químicas con ellos. Por lo tanto, existe un enorme potencial en este campo particular de investigación, especialmente para alimento líquido en materiales de plásticos, ya que los compuestos indeseables pueden fácilmente llegar al empaque por medio de mecanismos de transporte (López-Rubio, 2004).

Los absorbedores de sabores son sustancias empleadas para eliminar efectos indeseables en los alimentos envasados tales como el sabor, olores y aromas presentes en el espacio de cabeza (Ozdemir, 2004).

Hasta el momento, sólo unos pocos materiales han sido usados comercialmente para eliminar componentes de olor o sabor no deseables en los alimentos como los siguientes:

- **Limonina y naringina.** La inclusión de triacetato de celulosa en el material de envase para zumos, elimina componentes amargos como la limonina o la naringina que se forma durante la pasteurización del zumo (Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002; Day, 2008). Las causas del sabor amargo son la naringina flavanona glicosilada y la limonina lactona triterpenoide (limonoato D-anillo-lactona o ácido limonoico di-delta-lactona). La naringina es el compuesto amargo encontrado en la mayoría de frutas cítricas frescas y por lo tanto en jugos cítricos procesados frescos. La limonina se forma como un resultado del tratamiento térmico de los jugos durante el procesamiento de pasteurización, así como una acción química en el medio ácido del jugo (Devlieghere, 1999). Para contrarrestar esto, una delgada capa activa de acetato de celulosa (CA) o columnas de triacetato de celulosa que se aplica en el interior del envase o botellas de plástico recubiertas con acetato butirato de celulosa han sido desarrolladas, los cuales actúan como recolectores de estas sustancias (Devlieghere, 1999; Ozdemir, 2004; Day, 2008). Esta capa contiene inmovilizada la

enzima de origen fúngico naringinasa, que consiste de  $\alpha$ -ramnosidasa y  $\beta$ -glucosidasa, que hidroliza a la naringina a naringenina y prunina, ambos componentes no amargos (Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002). Las películas aprobadas para estar en contacto con alimentos, que contenía naringinasa inmovilizada mostraron una hidrólisis de naringina del 60% en el jugo de toronja en 15 días a las 7°C y una reducción en la limonina debido a la absorción en la película de CA (Devlieghere, 1999).

- **Aminas biógenas.** Las aminas malolientes, tales como la trimetilamina, resultado de la desnaturalización proteínica en el músculo de pescado, incluyen compuestos fuertemente alcalinos que son potencialmente susceptibles a la interacción con componentes ácidos tales como ácido cítrico y ácido ascórbico (Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002; López-Rubio & Ozdemir, 2004; Day, 2008). Una patente Japonesa basada en las interacciones entre compuestos ácidos (por ejemplo ácido cítrico o ácido policarboxílico aromático) mezclados con resinas termoplásticas y sustancias malolientes afirma la capacidad de remover aminas (Devlieghere, 1999; López-Rubio, 2004) . Otro enfoque para la remoción de olores amínicos ha sido proporcionado por las bolsas ANICO (Japón) hechas de una película conteniendo sales ferrosas y un ácido orgánico tal como ácido cítrico o ácido ascórbico están confirmados para oxidar la amina u otros compuestos oxidables causantes de olores que mientras son absorbidos por el polímero (Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002; Day, 2008).

- **Aldehídos.** Los aldehídos, formados de la ruptura de peróxidos resultando de la etapa inicial de autooxidación de grasas y aceites, tales como hexanal y heptanal, pueden presentarse en una amplia variedad de alimentos que contienen grasas, tales como papas fritas, galletas y productos de cereal, organolépticamente inaceptables (Devlieghere, 1999; López-Rubio & Ozdemir, 2004). Dupont Polymers (USA) ha desarrollado Bynel IXP101 un copolímero funcionalizado a base de etileno afirma que elimina aldehídos. Esta poliolefina es comercializada como una resina masterbatch destinada a ser mezclada con otros polietilenos lineales para formar una

capa de unión intermedia en co-extrusiones (Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002; López-Rubio, 2004). También se ha desarrollado un rango de zeolitas aluminosilicatos sintéticos por Swedish company EKA Noble, en colaboración con the Dutch company Akzo los cuales afirman que absorben los gases olorosos con su estructura altamente porosa. Su polvo BMH™ puede ser incorporado en materiales de envasado, especialmente aquellos son a base de papel, y aparentemente los aldehídos olorosos son absorbidos en los intersticios de los poros del polvo (Day, 2008).

El ácido cítrico, las sales ferrosas y ascorbato pueden ser contenidas en bolsas para la remoción de estos los olores de estos compuestos indeseables oxidándolos o absorbiéndolos (Devlieghere, 1999).

- **Mercaptanos y H<sub>2</sub>S. Carbón activado, arcillas zeolitas.** Existen sobres y plásticos que absorben olores que desarrollan alimentos que contienen proteínas (particularmente aves de corral) durante su distribución debido a la formación de mercaptanos y H<sub>2</sub>S (Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002; López-Rubio, 2004). Existe una combinación de sílica gel y carbón activado empacado junto para el uso de control de humedad, gas y olor en productos empacados (Devlieghere, 1999). Profresh es confirmado para ser un masterbatch de conservación de frescura y control de malos olores para PE y PS. El componente activo ADI50 (composición no revelada) afirma absorber etileno, alcohol, acetato etílico y H<sub>2</sub>S (Devlieghere, 1999; López-Rubio, 2004). Resultados similares fueron obtenidos con una imina polialcalina, la cual puede ser añadida a polietileno hasta una porción del 30%. Esta mezcla afirma ser un eficiente recolector de especies que contienen azufre y aldehídos (López-Rubio, 2004).

#### **Desventaja del uso de recolectores y emisores de olores/sabores:**

El uso de comercial de recolectores y emisores de olores/sabores es controversial debido a las preocupaciones de su capacidad de enmascarar las reacciones de

deterioro naturales y por lo tanto engañar a los consumidores sobre la condición del alimento empacado ya que pueden plantear un riesgo a la salud del consumidor (Day, 2008, Ozdemir, López-Rubio, 2004).

Es importante que las tecnologías mencionadas no sean mal usadas para enmascarar malos olores por el desarrollo de microorganismos para ocultar la venta de productos que están debajo de la norma o incluso que son peligrosos para el consumidor (Devlieghere, 1999). Cabe destacar que el Reglamento (CE) nº 1935/2004 limita el uso de los absorbentes de olores y sabores, indicando que estos no deben alterar la composición o las propiedades organolépticas de los alimentos, ni dar una información sobre el estado de los alimentos que pueda inducir a error a los consumidores.

### **2.2.9 NANOESTRUCTURAS**

Estos sistemas muestran una alta superficie-volumen libre y propiedades de superficie específicas que pueden tener amplias aplicaciones en el envasado de alimentos como son la mejora del sabor, color, textura y consistencia de los productos, aumentando la absorción y la biodisponibilidad o los nutrientes del alimento (Gontard, 2008; Restuccia, 2010). También permite el desarrollo de nuevos materiales de envasado con mejoras en las propiedades mecánicas, de barrera, antimicrobianas, de biodegradabilidad y proporcionando la estabilidad al calor o al frío (Lee, 2010). Las tecnologías a nanoescala pueden incluso mejorar la trazabilidad y el monitoreo de las condiciones del alimento durante el transporte y almacenamiento (Restuccia, 2010).

La nanotecnología promete opciones para el desarrollo de antimicrobianos activos y antifúngicos de superficie y detección así como señalización de cambios microbiológicos y bioquímicos (Lee, 2010).

Entre las tecnologías que emergieron para envases los nanocompuestos están siendo diseñados para conformar una porción significativa de los envases de alimentos y bebidas del mercado en el futuro cercano, aunque aún no ampliamente (Restuccia, 2010).

Estas aplicaciones incluyen:

- \* Nanotubos. Cilindros con diámetro a nanoescala que pueden ser usados en el envase del alimento para mejorar sus propiedades mecánicas. También pueden tener poderosos efectos antimicrobianos (Restuccia, 2010).

- \* Nanosensores. Usados para detectar químicos, patógenos y toxinas (Restuccia, 2010).

- \* Nano partículas. Controlan la liberación y/o especificidad de acción de los agentes activos requiriendo de humedad o temperatura como mecanismo de impulso. También pueden adaptarse para ligar sustancias indeseables evitando así su contacto con el alimento (Gontard, 2008).

- \* Nano biocompuestos y estructuras a base de hilado de nano fibras que mejoran las propiedades deseables de barrera o son capaces de introducir nuevas con una pequeña cantidad de nano ingredientes bioactivos sobre la película. Esta tecnología tiende a mejorar la calidad y la vida útil de los productos de manera significativa. (Gontard, 2008; Lee, 2010).

Un nanocompuesto es un tipo de material sólido multifase reforzado con partículas, fibras o plaquetas a escala de nanómetros (1-100 nm), que le proporcionan mejores propiedades mecánicas, químicas, de barrera y estabilidad a la oxidación que los compuestos convencionales y mejorando las propiedades macroscópicas de los

productos. Otro beneficio que proporcionan es la inhibición del aumento de deterioro, aumentando así la vida de anaquel (Lee, Mahalik 2010). Los nanocompuestos pueden ser hechos mediante la adición de nanopartículas a una matriz de cerámica, metal y polímero (Lee, 2010). Los nanocompuestos más comúnmente usados en la industria de alimentos son: 1) polímeros de nanoarcillas 2) nanocompuestos de sílica de nanoplata. Los efectos de nanoarcillas en polímeros aumentan la rigidez, la resistencia, el agente de nucleación en espumas, el tamaño de la celda más pequeña, una mayor densidad celular y un efecto piretardante. La nanoplata está compuesta de agua desionizada con plata en suspensión el cual tiene excelentes propiedades antimicrobianas. Las nanopartículas de plata interactúan bien con otras partículas mientras ellas tienen un área de superficie proporcional al volumen la cual aumenta su eficiencia antibacteriana (Mahalik, 2010).

Por ejemplo, los nanocompuestos poliméricos están hechos mediante mezcla sintética o polímero natural con partículas inorgánicas a nanoescala. Las nanoarcillas como la montmorillonita (MMT), hectorita, saponita, la celulosa nanowhiskers, nanotubos de carbón, la ultrafina capa de titanatos y nanoplata pueden ser usados como rellenos ultra finos (Lee, 2010).

La apariencia y transparencia de las películas de nanocompuestos dependen de los tipos de nanoarcillas añadidas. Las películas de nanocompuestos pueden proporcionar claridad ópticamente similar a las películas de platino en luz visible cuando las nanopartículas están eventualmente distribuidas en la película. Esto es posible ya que el tamaño de la partícula es más pequeño que la longitud de onda de luz visible y por lo tanto no distribuye la trayectoria de la luz visible. Incluso cuando las nanopartículas están intercaladas o exfoliadas en el polímero, la transmisión UV a través de la película es disminuida por dispersión sólida y/o absorción. Debido a este mecanismo, la película de nanocompuestos tiene un potencial para ser usado como un película transparente de barrera a gas para envasado de carne (Lee, 2010).

La actividad antimicrobiana de los nanocompuestos depende en gran parte de las especies antimicrobianas, los tipos de organoarcilla y la matriz polimérica usadas para la formación del nanocompuesto. La actividad antimicrobiana de nanocompuestos orgánicamente modificados es atribuido al amonio cuaternario contenido en las arcillas (Lee, 2010).

El nuevo concepto de recubrimiento comestible o de película comestible, hecho posible a través de la nanotecnología, ha sido introducido para incorporar aditivos alimentarios y otras sustancias bioactivas para la liberación controlada de nanomateriales de ingeniería (ENMs). Estos recubrimientos de nanolaminado deben consistir de ingredientes grado alimenticio (proteínas, polisacáridos, lípidos, etc.) de los cuales varios agentes funcionales incluyendo antimicrobianos, agentes anti-pardeamiento, antioxidantes, enzimas, aromatizantes y colorantes pueden ser añadidos. El recubrimiento comestible con compuestos activos nanoencapsulados puede controlar efectivamente su liberación y proteger los productos de humedad, calor u otras influencias, haciéndolos una buena opción para el mantenimiento de la calidad, especialmente para el almacenamiento a largo plazo de los alimentos. Inclusive aunque muchos han sido reportados sobre las ventajas potenciales de la utilización de las nanotecnologías para la industria de alimentos, la pequeña aplicación práctica para productos cárnicos ha sido desarrollada hasta la fecha (Lee, 2010).

Mahalik (2010) en su investigación menciona que los métodos de la nanotecnología juegan un rol significativo en la producción de estos compuestos:

- 1) Una película plástica transparente que contiene nanopartículas de arcillas que bloquean el oxígeno, la humedad y el dióxido de carbono de entrada en las partículas de alimento y también hacen plásticos más durables y resistentes al calor.
- 2) Nano cristales incorporados que crean una barrera molecular que ayuda a prevenir el escape de oxígeno.

- 3) Envase antimicrobiano el cual absorbe oxígeno de modo que previene que el alimento se eche a perder.
- 4) Desarrollo de películas de nanopartículas con sensores incrustados en el envase para detectar patógenos. La tecnología será capaz de detectar y alertar a los consumidores si el alimento está contaminado mediante una activación de un cambio de color en el envase.
- 5) Se está llevando a cabo el desarrollo de envases que se activan liberando conservadores si el alimento comienza a deteriorarse.

A pesar de las ventajas de las propiedades de los nanocompuestos, el uso de nanotecnología para alimentos y materiales en contacto con alimento ha sido una inquietud debido al potencial riesgo de que los nanomateriales artificiales los cuales pueden ser perjudiciales cuando son inhalados o ingeridos (Lee, 2010).

Aún existe incertidumbre sobre la evaluación de riesgos de los nanomateriales, debido a que los datos y la información sobre la toxicidad de los nanomateriales y su exposición a los consumidores es insuficiente (Lee, 2010).

### **2.2.10 ENVASES ENZIMÁTICAMENTE ACTIVOS**

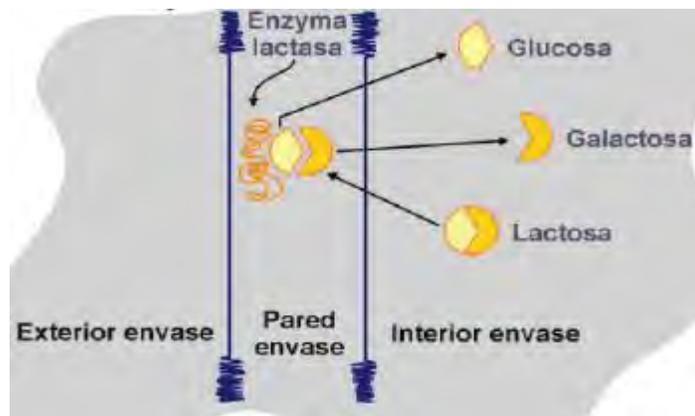
Los envases enzimáticamente activos son sistemas que contienen enzimas inmovilizadas que tienen efectos en las características sensoriales y nutricionales del alimento. Estas enzimas se aplican a materiales poliméricos en capa en contacto con el alimento o covalentemente unido a la superficie del envase. Esto último es preferible ya que se ha observado que mediante la unión de la sustancia activa o el polímero, su estabilidad a la temperatura, los solventes, el pH, y otras condiciones severas aumenta notablemente. Las enzimas inmovilizadas pueden ser aplicadas a

la estructura del envase mediante diferentes procesos, incluyendo recubrimiento por extrusión y solución de fundición. Los polímeros más usados en el desarrollo de estos sistemas son poliolefinas, poliésteres, poliamidas y polivinil alcohol (López-Rubio, 2004).

Las enzimas son péptidos que tienen actividad sólo cuando adoptan una conformación bien definida, que puede ser cambiada por el paso de inmovilización. Para inmovilizar la enzima en el empaque mientras que mantiene su actividad, los polímeros son químicamente modificados para facilitar la unión covalente con la enzima. Para adjuntar la enzima al polímero, los tratamientos químicos del polímero previamente son usualmente necesarios. Las poliolefinas son más bien inertes y necesitan para ser funcionales incluir grupos en la columna vertebral del polímero para reaccionar fácilmente con la enzima. El polietilén glicol ha sido usado para aumentar la compatibilidad de las poliolefinas apolares y enzimas polares. Otros polímeros tales como poliésteres, poliamidas, o polivinil alcohol pueden ser fácilmente vinculados covalentemente a péptidos (López-Rubio, 2004).

Las limitaciones actuales de esta tecnología son que la actividad de esta es restringida a la superficie del empaque y un contacto directo entre el empaque y el producto alimenticio es necesario, por lo tanto, esta tecnología es más útil para productos líquidos o semilíquidos. Por otra parte la especificidad podría ser considerado cuidadoso, ya que la enzima es muy sensible al medio que lo rodea y a los sustratos (López-Rubio, 2004; Coma, 2008).

El objetivo de esta tecnología es catalizar una reacción considerada benéfica nutricionalmente como es la disminución de la concentración de un constituyente del alimento no deseado y/o produciendo una sustancia del alimento atractivo para el consumidor (López-Rubio, 2004; Lagaron, 2006).



**Fig. 2.2.10.1 Esquema de acción de un envase activo con la enzima lactasa (Galat, 2009)**

López-Rubio (2004); Lagaron (2006) mencionan algunas aplicaciones actualmente disponibles de los envases enzimáticamente activos son:

- ✓ La naranginasa en un empaque de plástico para el jugo de toronja redujo su amargura por hidrólisis de la narangina, un principio amargo de jugos cítricos.
- ✓ Inmovilización de lactasa ( $\beta$ -galactosidasa) en el empaque activo para reducir el contenido de lactosa de la leche durante el almacenamiento.
- ✓ Inmovilización de colesterol reductasa en un empaque para líquidos convierte el colesterol en coprosterol.
- ✓ Otras enzimas que han sido probadas incluyendo varias hidrolasas para inactivar otras enzimas y glucosa isomerasa, que produce fructuosa del aumento de glucosa, de esta manera, la dulzura.

Las enzimas inmovilizadas actúan en la pared del empaque y la mayor parte de estas podrían ser usadas en la línea de producción de alimentos y, probablemente, en un proceso más eficiente. Sin embargo, el uso de este tipo de empaques permite la producción del producto con valor agregado sin modificar el procedimiento de elaboración (López-Rubio, 2004). La leche UHT producida por un proceso

convencional puede ser empacada en un empaque activo de lactasa, y mediante el almacenamiento, el producto llega al mercado como un producto bajo en lactosa o libre de lactosa (Lagaron, 2006; López-Rubio, 2004).

De acuerdo con Lagaron (2006) las técnicas de inmovilización de enzimas pueden dividirse en cinco categorías, es decir, adsorción, unión iónica, adhesión covalente, entrecruzamiento y atrapamiento/encapsulación.

La elección del método de inmovilización y del material soporte para la elaboración de los envases enzimáticos dependerá de la naturaleza del biocatalizador (por ejemplo, las enzimas purificadas de origen fúngico o bacteriano, ya sea natural o modificado genéticamente), las condiciones de almacenamiento previstas, el tipo de alimento que se prepare y de la aplicación específica del biocatalizador.

El método de inmovilización, adhesión covalente y entrecruzamiento involucra ya sea la modificación de la superficie biopolimérica o el uso de químicos tóxicos, tales como glutaraldehído, el cual es usualmente inadecuado para aplicaciones en alimento. Para superar esta problema, los soportes minerales podrían ser añadidos a los materiales biopoliméricos, los cuales, aparte de mejorar sus propiedades mecánicas y de barrera, han probado ser muy eficientes en la unión enzimática. En esta área existen también algunas iniciativas para desarrollar nuevas tecnologías basadas en el uso de nanoacarreadores inorgánicos específicos para la producción de películas enzimáticamente activas ( $\beta$ -galactosidasas). Varias investigaciones han sido llevadas a cabo sobre la adhesión de enzimas en diversos soportes de arcillas minerales. Los mecanismos por los cuales las enzimas pueden ser inmovilizadas sobre arcillas minerales incluyen intercambio catiónico, adsorción física y unión iónica. Lo que sigue siendo fundamental en todas estas nuevas tecnologías es mantener la funcionalidad de la enzima y es aquí donde los actuales esfuerzos de investigación se están centrando.

El método más común para la inmovilización de enzimas es, sin embargo, la encapsulación. Diversos materiales y métodos han sido usados para la

encapsulación de enzimas y el uso de ellos en reactores de cama empacados. El método de encapsulación sol-gel hace uso de geles inorgánicos, usualmente geles de sílica, los cuales pueden fácilmente ser adaptados a una amplia gama de texturas porosas, estructuras de red, funcionalidades de la superficie y condiciones de procesamiento. Entre los requerimientos específicos para la encapsulación de enzimas, el tamaño de la capsula y la porosidad son de suprema importancia, ya que ante todo, la enzima debe ser capaz de cambiar su conformación dentro de la capsula y, en segunda, los sustratos externos así como los productos transformados deben permanecer libres para la difusión dentro o fuera de las paredes de la cápsula.

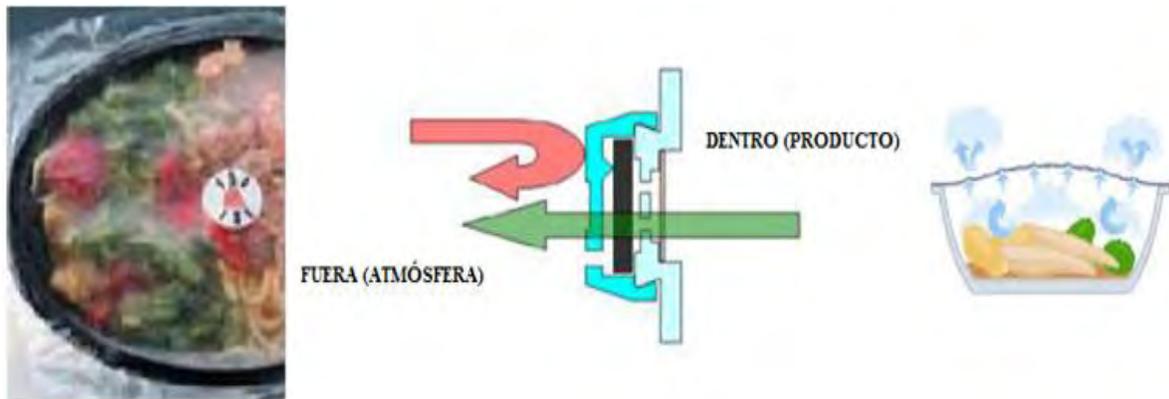
Aunque no existe un soporte universal para todas las enzimas y sus aplicaciones, un número de características deseables deberán ser comunes para cualquier material preseleccionado como un candidato potencial para la inmovilización adecuada de enzimas. Estas incluyen: alta afinidad a las proteínas, disponibilidad de grupos funcionales reactivos para reacciones directas con enzimas y para modificaciones químicas, hidrofiliidad, estabilidad mecánica y rigidez, regenerabilidad y facilidad de preparación en diferentes configuraciones geométricas que proporcionan al sistema con permeabilidad y adecuada área de superficie para una biotransformación seleccionada. Es comprensible que para la aplicación en alimentos, la no-toxicidad, la biocompatibilidad, y el cumplimiento de las regularizaciones de alimentos y la accesibilidad desde la perspectiva de costos también son requeridos. Además para responder a la creciente salud conciencia de salud pública y ambiental, los materiales incluso si no están destinados a migrar a los alimentos, al menos deben ser biodegradables por los procesos de compostaje. Para ahorrar tiempo y costos podría ser útil desarrollar e implementar químicos grado alimenticio, así como biopolímeros generalmente reconocidos como seguros (GRAS), como acarreadores y matrices adecuados.

Entre los materiales ya estudiados para la inmovilización de enzimas y con interés potencial en el envasado activo, la carragenina, el quitosán, la gelatina, el ácido

poliláctico (PLA), el ácido poliglicólico (PGA) y el alginato son materiales muy prometedores.

### 2.2.11 SISTEMAS LIBERADORES DE AGUA

Los sobres que liberan vapor de agua son el elemento clave para el envasado exitoso innovador de vegetales frescos y listos para cocinar. Combinado con una válvula colocada en la bolsa de plástico, permiten cocinar vegetales frescos en un horno de microondas y obtiene, en únicamente unos cuantos minutos, una comida recién cocinada con mejor calidad organoléptica y nutricional (Gontard, 2008).



**Fig. 2.2.11.1 Esquema de sistema de envasado que libera agua por medio de válvula (Galet, 2009)**

## 2.2.12 ENVASADO DE CONTROL DE TEMPERATURA

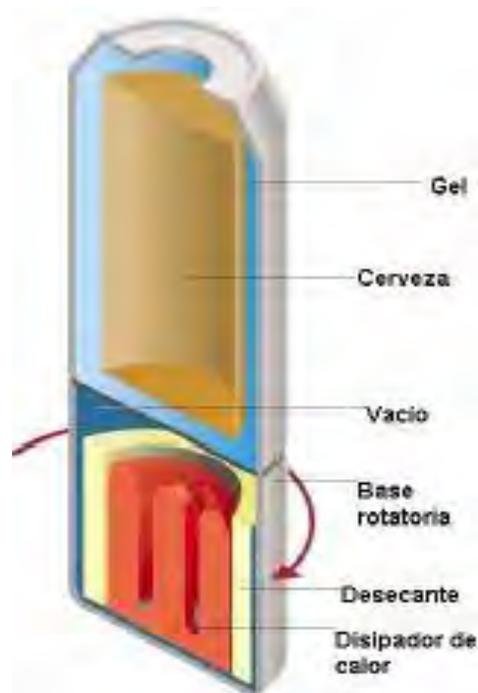
El envasado activo de control de temperatura incluye el uso de innovadores materiales aislantes, autocalentamiento y latas de autoenfriamiento. Por ejemplo, para proteger contra el abuso excesivo de la temperatura durante el almacenamiento y la distribución de alimentos refrigerados, materiales especiales de almacenamiento han sido desarrollados. Uno de estos materiales es el Thinsulate™ (3M Company, USA) el cual es un plástico especial no tejido con muchos espacios de poro abierto. Otro enfoque para mantener las temperaturas de enfriamiento es aumentar la masa térmica del alimento empacado de modo que sea capaz de soportar la elevación de temperatura (Day, 2008).

Latas de aluminio y acero, y contenedores de auto calentamiento para sake, café, té y alimentos ya preparados se calientan por una reacción exotérmica cuando cal viva (CaO) y agua son colocadas en la base y se mezclan (Day, 2008; Kerry 2006) (Fig. 2.2.12.1). Los mecanismo de auto calentamiento también incluyen cloruro de calcio/agua, permanganato de potasio/glicerol y súper aleaciones corrosivas/agua salada.



Fig. 2.2.12.1 Sistema de envasado de autocalentamiento (Galet, 2009)

Latas de auto enfriamiento involucran la disolución endotérmica de nitrato de amonio y cloruro en agua. Otra lata de auto enfriamiento que fue introducido brevemente en el mercado fue the Chill Can™ (The Joseph Company, USA) el cual se basó en un gas refrigerante de hidrofluorocarbono (HFC). La liberación del gas HFC fue iniciado mediante un botón de ajuste en la base de la lata y podía enfriar una bebida a 10 °C en 2 minutos. Sin embargo preocupaciones sobre el impacto ambiental del HFC redujo su éxito comercial. Otro concepto de lata de auto enfriamiento que no tiene preocupaciones asociadas al impacto ambiental ha sido desarrollado por Tempra Technology in partnership with Crown Cork & Seal (USA). La lata IC™ (Instant Cool) depende de la reacción endotérmica del nitrato de amonio/agua salada y puede reducir la temperatura de la bebida de ambiente a 15°C en 3 minutos (Day, 2008).



**Fig. 2.2.12.2 Sistema de envasado de auto enfriamiento (Galet, 2009)**

### **2.2.13 COMPENSADORES DE TEMPERATURA**

Las películas que compensan la temperatura exhiben cambios dramáticos en permeabilidad mientras la temperatura es incrementada por encima de la temperatura interruptor. Estas películas pueden tolerar la fluctuación de temperatura durante el almacenamiento y la distribución de producción (De Kruijf, 2002). Estas películas están basadas en polímeros inusuales cristalizables de cadena lateral que responden a la temperatura en una manera controlable y predecible (Day, 2008). Mediante el cambio de la permeabilidad como una función de la temperatura, estas películas pueden compensar la respiración incrementada de la producción a temperaturas más altas (De Kruijf, 2002). Estos polímeros pueden cambiar abruptamente su permeabilidad, adhesión o viscosidad cuando se calientan o enfrían por unos cuantos grados. Estos cambios son provocados por un interruptor de temperatura integrado, que puede ajustarse dentro de los rangos de temperatura compatible con la mayoría de las aplicaciones biológicas, en particular a la tasa de respiración de productos hortícolas cortados frescos. Además, dado que el proceso de cambio implica un cambio físico y no uno químico, puede ser invertido repetidamente (Day, 2008).

Los polímeros ayudan a mantener atmósferas óptimas en empaques sellados de productos cortados frescos y enteros durante las fluctuaciones de temperatura que pueden ocurrir durante el almacenamiento refrigerado y distribución. A temperaturas elevadas, cuando los productos que respiran necesitan más oxígeno, el polímero se vuelve más permeable, pero a temperaturas más bajas, la permeabilidad del polímero disminuye automáticamente. A pesar de su costo relativamente alto han tomado lugar en el mercado (Day, 2008).

#### **2.2.14 PELÍCULAS INCRUSTADAS DE COLOR**

Las películas incrustadas de color grado alimenticio pueden proporcionar compuestos que colorean a los alimentos que tienen un color afectado adversamente debido a condiciones de almacenamiento. Una aplicación de estos sistemas es en el almacenamiento de surimi (carne de cangrejo artificial). Un pigmento de color de red comestible migra de la envoltura del surimi al producto para dar al surimi el color rojo cangrejo deseable. Incluso si el sistema liberador de color contiene colores grado alimenticio, su uso debe ser regulado mediante estándares legales (Ozdemir, 2004).

#### **2.2.15 SISTEMAS QUE ABSORBEN O REGULAN LA LUZ**

Los sistemas que regularizan o absorben luz protegen a los alimentos sensibles a la luz de efectos perjudiciales de la luz UV, mediante la disminución de la transmitancia UV, desacelerando así la tasa de reacciones de oxidación y degradación enzimática (Ozdemir, 2004).

#### **2.2.16 PELÍCULAS ANTIADHERENCIA**

El uso de las películas de antiadherencia reduce la tendencia de adhesión de dulces suaves y quesos en rebanadas (De Kruijf, 2002; Ozdemir, 2004).

### **2.2.17 SUSCEPTORES DE MICROONDAS**

Los susceptores de microondas convierten suficiente energía de microonda en calor que proporciona un alto aumento de temperatura en muy corto tiempo comparado al calentamiento tradicional. Estas altas temperaturas producen efectos de secado, tostado y dorar que son deseables para algunos productos alimenticios (De Kruijf, 2002; Ozdemir, 2004)

Los susceptores de microondas consisten de aluminio o acero inoxidable depositados sobre sustratos tales como películas de poliéster o cartón para secar, dorar y finalmente tostar alimentos en microondas. Los modificadores para calentamiento en microondas consisten de una serie de estructuras de antena, los cuales alteran el camino de las microondas para llegar a los alimentos lo que resulta en el calentamiento, tostado de la superficie y dorado (Kerry, 2006).

### **2.2.18 EMPAQUES PERMEABLES/RESPIRABLES A GAS**

Los empaques permeables/respirables a gas proporcionan un intercambio de gas entre el interior del empaque y el exterior, resultando en un aumento en la vida de anaquel de frutas y vegetales que respiran (Ozdemir, 2004).

### **2.2.19 EMPAQUES REPELENTES DE INSECTOS**

La inclusión de fumigantes de baja toxicidad, tales como piretrinos o permetrin, a las capas exteriores de los empaques alimenticios es una aplicación para la formación

de envases activos contra ataques de insecto durante el almacenamiento y transporte (Ozdemir, 2004).

### 2.2.20 SISTEMAS DE ENVASADO ACTIVO CON FUNCIÓN DUAL

Existe una manera más sofisticada de extender la vida útil de alimentos empacados con sistemas de envasado activo mediante el uso de sistemas activos de función dual o multifuncionales (Ozdemir, 2004).

Algunos de los sistemas con función dual más comunmente usados son:

\* **Sistemas de recolección de O<sub>2</sub> y recolección de CO<sub>2</sub>.** Son usados para evitar el estallido a causa de la acumulación eventual de dióxido de carbono en el empaque al ser sellado herméticamente el café después del tostado y para retrasar los cambios de sabor en café fresco por el oxígeno (Ozdemir, 2004; Day, 2008). Estos sistemas además inhiben el crecimiento de *Clostridium sporogenes* (Suppakul, 2003). Estos sistemas contienen típicamente polvo de hierro para la recolección de oxígeno e hidróxido de calcio, el cual recolecta el dióxido de carbono cuando es convertido a carbonato de calcio bajo condiciones suficientemente altas de humedad (Ozdemir, 2004; Day, 2008). Otro método de elaboración es a través de una mezcla de óxido de calcio y carbón activado en bolsas de café forradas de polietileno, en sobres o etiquetas (Day, 2008).

\* **Sistemas de recolección de O<sub>2</sub> y emisores de CO<sub>2</sub>.** La liberación de CO<sub>2</sub> puede también ser usado para superar el colapso del empaque flexible o el vacío parcial causado por el agotamiento del oxígeno cuando son usados los recolectores de O<sub>2</sub>) (Devlieghere, 1999; López-Rubio, 2004; Kerry, 2006; Day, 2008). También, cuando un empaque es inyectado con una mezcla de gases incluyendo dióxido de carbono. El dióxido de carbono se disuelve en el producto creando un vacío parcial ya que el

CO<sub>2</sub> se difunde en el material de envasado entre 2 y 6 veces más rápido que otros gases protectores (Devlieghere, 1999; Kerry, 2006). Para evitar este problema, han sido comercializados sobres que contienen combinaciones de recolectores de O<sub>2</sub>/emisores de CO<sub>2</sub> que absorben oxígeno y generan un volumen igual de dióxido de carbono (Ahvenainen, 1997; López-Rubio & Ozdemir, 2004). Algunos de estos sistemas están basados ya sea en carbonato ferroso o una mezcla de ácido ascórbico y bicarbonato de sodio (Devlieghere, 1999; López-Rubio, 2004; Kerry, 2006). Pueden ser también elaborados mediante la colocación de carbonato de hierro y un metal catalizador de haluro o una mezcla de ácido ascórbico y bicarbonato de sodio en el sobre (Day, 2008). Los recolectores de O<sub>2</sub>/generadores de CO<sub>2</sub> son principalmente usados en productos donde el volumen y la apariencia del empaque son críticos por ejemplo maní o papas fritas (Devlieghere, 1999; Suppakul, 2003). También se sabe que bajos niveles de O<sub>2</sub> y altos niveles de CO<sub>2</sub> pueden reducir la tasa de producción de respiración, con el beneficio de retraso de la senescencia, reduciendo la actividad metabólica, retrasando el pardeamiento, manteniendo el color, reduciendo la proliferación microbiana y reduciendo los síntomas de daño por enfriamiento, extendiendo así la vida de anaquel (Del Nobile, 2011).

\* **Sistemas de recolección de CO<sub>2</sub> y emisores de O<sub>2</sub>.** Los sistemas de acción de recolección de dióxido de carbono y emisores de oxígeno usados para contrarrestar la respiración en envasado de atmósfera modificada alta en oxígeno de productos cortados frescos (Day, 2008).

\* **Sistemas recolectores de O<sub>2</sub> y liberadores de antimicrobianos.** Los recolectores de oxígeno que contienen etanol o sistemas liberadores de antimicrobianos inhiben el crecimiento antimicrobiano más eficientemente que un absorbedor de etanol solo. Una aplicación similar en esta área combina recolectores de oxígeno con la acción antimicrobiana de una Ag-zeolita (Ozdemir, 2004; Day, 2008).

\* **Sistemas recolectores de etileno con capacidad antimicrobiana.** Existen numerosos productos basados en la capacidad de ciertos minerales finamente molidos para recolectar etileno y para emitir radiación antimicrobiana del infrarrojo lejano. Típicamente estos minerales tipo tierra activados incluyen arcillas, piedra pómez, zeolitas, coral, cerámicas e incluso piedra oya-ishi japonesa. Estos minerales son incrustados o mezclados en bolsas de películas de polietileno las cuales son usadas para empacar productos frescos (Day, 2008).

\* **Sistemas con capacidad de absorber etileno, de controlar la humedad y los niveles de oxígeno y de CO<sub>2</sub>.** La piedra oya-ishi, una piedra que se encuentra naturalmente, tiene la capacidad de absorber gas etileno producido por frutas y vegetales que respiran. Bolsas de plástico impregnadas de piedra oya-ishi para productos frescos son comercialmente producidos en los US. Estas bolsas están microperformadas, de esta manera previene la acumulación de humedad dentro del empaque. También son capaces de controlar niveles de oxígeno y dióxido de carbono dentro del empaque (Ozdemir, 2004)

\* **Sistemas recolectores de oxígeno y etileno.** Los sistemas de envasado activo con función dual desarrollados para recolectar tanto oxígeno como etileno de los empaques de productos frescos son de gran valor no sólo en reducir el crecimiento y deterioro de microorganismos, sino también en limitar la tasa de respiración (Ozdemir, 2004)

\* **Sistemas recolectores de humedad y etileno.** Los sistemas recolectores de humedad a base de carbón activado con diversos calizadores metálicos pueden también remover efectivamente el etileno. Ellos han sido usados para recolectar el etileno desde los almacenes de productos o son incorporados sobres por inclusión en el empaque del producto e incorporado en bolsas de papel o cajas de cartón corrugado para almacenamiento de producto (Day, 2008).

\* **Sistemas de control de humedad y recolección de olores u oxígeno.** Para el control de humedad, se han desarrollado sistemas en sobre que contienen

desecantes como la sílica gel y carbón activado para la absorción de olor o polvo de hierro para la recolección de oxígeno (Day, 2008).

### **2.2.21 OTROS SISTEMAS ACTIVOS**

De Kruijf (2002) menciona que existen otros sistemas menos habituales de envasado activo como los sistemas generadores de espuma (Fig. 25), entre otros.



**Fig. 2.2.21.1 Sistemas de envasado generadores de espuma (Galet, 2009)**

**Ver en Anexo tablas con las características generales de los sistemas de envasado activo.**

## **2.3 SISTEMAS DE ENVASE ACTIVO Y SUS DIFERENTES PRESENTACIONES**

Los primeros diseños en el envasado activo hicieron uso de una pequeña bolsa (sobre) fabricadas con materiales permeables que contenía el ingrediente activo insertado dentro del empaque permeable. Esta tecnología produce algunas atractivas características, especialmente una velocidad de actividad alta y la falta de equipo complejo o la modificación de los procedimientos de envasado ya que el sobre es insertado en un paso adicional. Sin embargo, hay muchas desventajas relacionadas al uso de sobres, siendo el mayor inconveniente el rechazo de algunos consumidores a la presencia de elementos distintos del alimento en el empaque por el riesgo de ingestión accidental de su contenido si se produce la rotura de la bolsa debido a que con frecuencia las sustancias activas son tóxicas (López-Rubio, 2004).

En las tecnologías de envasado activo hoy en día el agente activo es colocado en el empaque con el alimento, en un sobre pequeño, almohadilla o dispositivo elaborados de un material permeable que permite al compuesto activo lograr su propósito pero previene el contacto directo con el producto alimenticio, protegiendo al alimento de la contaminación o degradación. Los desarrollos de envasado activo se están ahora centrando en la incorporación de los agentes en las matrices poliméricas los cuales constituyen las paredes del empaque; los materiales resultantes actúan mediante la liberación de sustancias que tienen un efecto positivo sobre el alimento o mediante la retención de sustancias indeseables del alimento o de la atmósfera interna del empaque (Gavara, 2010). En la incorporación de las sustancias activas al material de envasado se busca que la sustancia activa pueda actuar o ser liberado de forma controlada (López-Rubio & Ozdemir, 2004; Coma, 2008). Por otra parte ofrecen beneficios como la simplificación de la manipulación y mejoran la seguridad de los consumidores mediante la eliminación de la posibilidad de consumir accidentalmente el sobre. Con esta alternativa se reducen los problemas de migración del compuesto químico hacia el alimento porque no hay contacto directo entre ambos (Ozdemir,

2004). Las ventajas adicionales de incorporar este agente activo en la estructura polimérica (pared del empaque) sobre su uso en sobres son, por ejemplo, la reducción del tamaño del empaque, algunas veces con la más alta efectividad de la sustancia activa (que está envolviendo completamente el producto) y la salida más alta en la producción de envasado (como la incorporación del sobre significa un paso adicional, generalmente manual) (López-Rubio, 2004).

**Tabla 2.3.1 Ventajas y desventajas de los dispositivos de envase activo  
(Ahvenaine, 1997; López-Rubio, 2004; Galet, 2009)**

<p><b>DISPOSITIVO INDEPENDIENTE:</b> bolsitas, etiquetas, cartón o sobre, tapón</p> <p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El dispositivo se prepara independientemente del envase</li> <li>- Posibilidad de varias funciones simultáneas</li> <li>- Separado del alimento en un recipiente irrompible</li> </ul> <p><b>Inconvenientes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dispositivo visible y manipulable por el consumidor</li> <li>- Operación adicional en el proceso de envasado</li> <li>- La rotura accidental del dispositivo puede ser tóxico</li> </ul>	<p><b>INCORPORACIÓN DEL AGENTE ACTIVO EN LAS PAREDES DEL ENVASE (O EL TAPÓN)</b></p> <p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dispositivo no visible ni manipulable por el consumidor</li> <li>- Envasado realizado en máquinas convencionales</li> </ul> <p><b>Inconvenientes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El agente sufre los procesos de elaboración del envase.</li> <li>- Los procesos de migración no deseados pueden ser tóxicos.</li> <li>- El agente actúa desde el momento en que se fabrica el envase.</li> </ul>
---	---

Los materiales activos pueden estar compuestos de una o más capas o partes de diferentes tipos de materiales, tales como plásticos, papel, cartón, revestimientos o barnices (Restuccia, 2010). De esta forma las sustancias activas pueden ser también incorporadas en películas, etiquetas, cintas, láminas, recubrimientos adhesivos, cierres, en la tinta de impresión, tapas de botella, contenedores, bandejas, bolsas y en el propio material del envase a través de disolución o dispersión (Smith, 1990; Meroni, 2000; López-Rubio, 2004; Salafranca, 2007; Gavara & Restuccia, 2010).



**Fig. 2.3.2 Diferentes dispositivos que se encuentran disponibles en los sistemas de envasado en la industria de alimentos (Galet, 2009)**

**Tabla 2.3.1 Algunos dispositivos actualmente aplicados a la industria de alimentos (Caride, 2011)**

<b>Técnicas</b>	<b>Dispositivos</b>
Absorbentes de O <sub>2</sub>	Sobres Etiquetas Bandejas Películas Tapas Cintas
Reguladores de humedad	Sobres Etiquetas Películas
Absorbentes de etileno	Sobres Películas
Tratamiento antivaho	Películas
Incorporación de aditivos	Películas comestibles
Absorbentes de humedad	Láminas
Emisores de CO <sub>2</sub>	Sobres
Absorbentes de CO <sub>2</sub>	Sobres

Por otro lado los polímeros biodegradables están siendo estudiados actualmente como revestimientos comestibles o materiales para película (Han, 2000; Hong, 2008). Estos recubrimientos pueden ser a base de lípidos, proteínas, polisacáridos o ceras (Ohlsson, 1994; Piette, 2000; Hong, 2008). Ofrecen favorables ventajas ambientales de reciclado y reutilización comparado a polímeros sintéticos convencionales a base de petróleo (Hong, 2008). Pueden servir como barreras a gas y solutos protegiendo así al producto del oxígeno y la pérdida de componentes de aroma y humedad, reduciendo los requerimientos del envasado (Ohlsson, 1994; Hong, 2008). Las películas comestibles pueden mejorar la calidad de productos

frescos, congelados y procesados mediante retraso de pérdida de humedad, reducción de oxidación de lípidos y decoloración, mejorando la apariencia del producto y funcionando como soporte de los aditivos alimentarios (Coma, 2008). Pueden ser eficientes vehículos para la incorporación de varios aditivos antimicrobianos, además de antioxidantes, agentes antioxidantes, agentes colorantes y otros nutrientes (Hong, 2008). La selección de los agentes activos incorporados está limitado a compuestos comestibles, ya que ellos deben ser consumidos con las capas de recubrimiento y alimentos juntos (Kerry, 2006). El uso de este tipo de películas ha sido limitado debido a sus desventajas con respecto a las propiedades mecánicas y de barrera (Hong, 2008). La mayoría de las películas son sensibles a la humedad, lo cual limita su aplicación para alimentos secos, congelados y semi-humedos (Ohlsson, 1994). Generalmente las películas biopoliméricas hechas de proteínas y polisacáridos muestran una excelente propiedad de barrera al oxígeno en humedad relativamente baja a intermedia así como bastantes buenas propiedades mecánicas. Sin embargo su barrera contra el vapor de agua es pobre debido a su naturaleza hidrofílica (Hong, 2008).

Ya que muchos biomateriales para el envasado de alimentos son biodegradables la estabilidad del material durante el almacenamiento hasta su eliminación debe ser probada antes de usar el material como un material de envasado primario para alimentos (Mortensen, 1999).

Cuando se diseña un empaque que incluya cualquier sustancia activa en su estructura, algunas precauciones deben ser tomadas en cuenta: el aditivo debe mantener sus propiedades después del proceso de envasado y no deberá afectar las propiedades del plástico, y el que contiene el aditivo debe ser, en cierta medida, permeable al agua, mientras la estructura del empaque deberá contener una capa externa impermeable al agua para limitar el paso del agua de la atmósfera exterior (López-Rubio, 2004).

En los sistemas de envase activo la selección de los componentes que se incorporarán es a menudo limitado por la incompatibilidad del componente con el material de envasado o mediante la labilidad térmica del componente durante la extrusión (Quintavalla, 2002; Hong, 2008). Esto es importante para elegir la matriz polimérica y los activos agentes adecuados así como otros ingredientes tales como plastificantes. En este aspecto, un enfoque novedoso puede ser explorado para el uso de películas biopoliméricas como un portador de calor competente para compuestos bioactivos susceptibles en combinación con películas plásticas sintéticas comunes para producir una estructura compuesta. Además las propiedades mecánicas y de barrera pueden ser mejoradas para una gran extensión mediante la formación de las películas compuestas de recubrimientos biopoliméricos en plásticos convencionales (Hong, 2008).

Es importante remarcar que cada tipo de alimento tiene un mecanismo de deterioro específico que debe ser estudiado, entendido y controlado antes del diseñar y aplicar una tecnología activa (Restuccia, 2010; Day, 2008; López-Rubio, 2004).

La mayor parte de los agentes activos son considerados constituyentes de materiales en contacto con el alimento (en lugar de aditivos alimentarios), y por lo tanto, estos sistemas deberán cumplir con las muy estrictas regulaciones existentes con respecto a migración (López-Rubio, 2004).

## 2.4 PRODUCTOS ALIMENTICIOS EN LOS QUE SE EMPLEAN

**Tabla 2.4.1 Actuales y futuras aplicaciones del envase activo (Smith, 1990; Ahvenaine, 1997; Devlieghere, 1999; Suppakul, 2003; Krijff, López-Rubio & Ozdemir, 2004; Markarian & Charles, 2006; Day & Coma, 2008; Lee & Restuccia, 2010).**

Concepto	Grupos de alimentos						
	Secos	Alto contenido de grasa	Mínimamente procesados	Carne y lácteos	Congelados	Productos de panadería	Bebidas
Recolector de O <sub>2</sub>	Nueces tostadas, café de grano, té, pescado seco, cereales, especias, leche en polvo, vegetales, harina	Papas fritas, chocolate	Pescado, pasta pre cocida y fresca, fruta y vegetales, frijoles, granos, hierbas, especias	Queso, salami, carnes ahumadas y curadas, pescado, leche en polvo	Pescado, vegetales	Corteza de pizza, pan, tortas, galletas, pasteles, tortillas.	Cerveza, jugo de fruta, té para beber ya preparado, productos a base de tomate, vino
Recolector de CO <sub>2</sub>	Café		Fruta	Queso, carne, aves, pescado			
Emisores de CO <sub>2</sub>	Nueces	Papas fritas, cacahuates	Productos climatéricos	Carne fresca y pescado		Bizcocho esponjoso	
Emisor de C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>			Productos climatéricos				
Recolectores C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>			Productos climatéricos				
Reguladores de humedad	Todo		Pasta fresca, fruta y vegetales rebanados	Carne, aves, pescado, queso, carne curada	Mariscos, carne, pescado	Pasteles, bollos de pan	
Emisores de etanol	Pescado semi seco			Queso	Pescado	Pan dulce, productos de panadería con alta humedad	
Liberación antimicrobiana	Frutas secas, harina		Fruta, vegetales, arroz, granos y frijoles	Pescado, queso, carne		Pan, pasteles	Vino
Liberación de antioxidante	Cereal de desayuno						Vino

Concepto	Grupos de alimentos						
	Secos	Alto contenido de grasa	Mínimamente procesados	Carne y lácteos	Congelados	Productos de panadería	Bebidas
Película que libera sabor	Café de grano				Helado		Jugo de naranja
Absorción de sabor	Cereales	Aperitivos fritos		Pescado		Galletas	Jugo de fruta
Efecto enzimático	Todo tipo de alimentos	Todo tipo de alimentos	Todo tipo de alimentos	Todo tipo de alimentos	Todo tipo de alimentos	Todo tipo de alimentos	Todo tipo de alimentos
Películas antiempañamiento			Frutas y vegetales	Carne			
Películas antiadherente				Queso en rebanadas			
Películas que contiene color					Surimi		
Absorbedores de luz				Leche		Pizza	
Susceptores de microondas		Papas a la francesa y palomitas				Bollos, pan, pizza con corteza	
Películas permeables/respirables a gas			Ensaladas ya preparadas				
Envasado que controla la temperatura							Sake, café, té, cerveza, entre otras bebidas
Películas compensadoras de temperatura			Productos hortícolas como son brócoli, coliflor, espárragos y fresas, vegetales recién cortados,				

## 2.5 PAISES QUE ACTUALMENTE LOS INCLUYEN EN SU MERCADO

De acuerdo a los investigadores Smith (1990); Ahvenainen (1997); Devlieghere (1999); Meroni (2000); De Kruijf (2002); López-Rubio (2004); De Jong (2005); Markarian (2006); Coma & Gontard (2008); Restuccia (2010) el envase activo ya está siendo usado exitosamente en USA, Japón y Australia sin embargo el uso en Europa y países Nórdicos está comenzando a incrementarse (ver Fig. 2.5.1).



**Fig. 2.5.1 Mercados globales para el envasado activo 2001-2010 (Markarian, 2006)**

Las compañías están ahora en el proceso de obtener las aprobaciones para que existan los conceptos de envase activo en Europa (Markarian, 2006).

## 2.6 MOTIVOS POR LOS CUALES SON EMPLEADOS

Las tendencias en los valores de los consumidores están fuertemente influenciando las tendencias en los mercados de alimentos. La demanda de productos 'bajos' y 'altos' representa una tendencia mayor, dirigido a reducir el contenido calórico del alimento, y a menudo también en reducir el contenido de ingredientes tales como grasa, azúcar, sal. Además, los aditivos (con números E) están tendiendo a ser eliminados de los alimentos, y a veces reemplazados por ingredientes naturales, si dichos ingredientes están disponibles (Coma, 2008; Salafranca, 2007; Markarian, 2006; Skandamis, 2002; Nielsen, 2000) porque aquellos son percibidos como más seguros, más sanos y mucho menos tóxicos con propiedades similares. Esta tendencia va de mano en mano con el impulso hacia lo más natural, los productos más frescos. No es sólo la distribución extendida y el tiempo de almacenamiento los que son atractivos. La seguridad del producto incrementada es también muy demandada por los productores y los distribuidores. Los productos frescos son altamente perecederos, y las acciones que aumentan la seguridad son importantes, especialmente a la luz de nueva legislación responsable de productos defectuosos (Galić, 2011; Skandamis, 2002; Olhsson, 1994).

En el aspecto de la vida de anaquel, los productos de almacenamiento a temperatura ambiente de larga duración tradicionales son también afectados por las tendencias del consumidor. Las tecnologías de conservación que prolongan la vida de anaquel pero no tienen un efecto perjudicial sobre los atributos de calidad del producto están favorecidas en el mercado. El impulso hacia la vida de anaquel más corta para productos de vida de anaquel a temperatura ambiente es también apoyado por la demanda de una rotación más rápida de acciones. Esto es debido a la necesidad de disminución de costos de capital y también a los cambios más rápidos del mercado que se impulsan mediante la comunicación mejorada entre las unidades de mercado y las unidades de producción, a través, por ejemplo, EDI (intercambio de datos electrónicos) y cajas registradoras computarizadas (Olhsson, 1994).

Finalmente, existe una tendencia del envase de reducir el tamaño de los espesores del material y de elegir el envase que consiste de sólo un material (Ohlsson, 1994).

En resumen, los productos de vida de anaquel muy corta requieren métodos de conservación que prolongarán su vida de anaquel, mientras los productos de vida de anaquel larga requieren métodos que reduzcan la vida de anaquel mejorando la calidad. Tales métodos son encontrados entre el grupo de tecnologías y métodos conocidos como métodos de procesamiento mínimo (Ohlsson, 1994).

En los productos mínimamente procesados, el almacenamiento, el proceso, el envasado y la distribución son realizados usando sistemas altamente integrados; cada etapa debe ser considerada en conjunto con los otros. Los métodos de procesamiento mínimo pueden ser aplicados en diferentes etapas en la cadena de distribución y del almacenamiento del alimento, para el envase/proceso del producto ya preparado (Ohlsson, 1994) (Tabla 2.6.1).

La realización y logro de niveles óptimos de concentraciones de oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua dentro de un empaque son casi imposibles de lograr usando películas de plástico pasivo solo. Sin embargo, usando tecnología de envasado activo se puede conseguir atmósferas de gas y niveles de humedad óptimos en empaques de alimentos para lograr una vida útil máxima (Ozdemir, 2004).

Por otra parte los consumidores están demandando materiales de envasado de alimento que sean más naturales, desechables, comestibles, potencialmente biodegradables, así como, reciclables. Por esta razón, hay un interés cada vez mayor en el estudio y desarrollo de biopolímeros basados en fuentes renovables capaces de ser degradados a través de un proceso de composición natural para aplicaciones de envasado activo (Del Nobile, 2009; Lee, Mahalik & Restuccia, 2010; Yemenicioğlu, 2011).

**Tabla 2.6.1 Oportunidades e inconvenientes de las nuevas técnicas de conservación (Devlieghere, 2004)**

<b>Nueva técnica de conservación</b>	<b>Oportunidades</b>	<b>Inconvenientes</b>
Altas presiones hidrostáticas	Alta retención de nutrientes y vitaminas Alta calidad organoléptica como frescura Aplicable para alimento ácido (como esporas que no germinarán en alimentos ácidos) Las esporas pueden ser inactivadas cuando se combina con calor o sistema de lactoperoxidasa o lisozima	Discontinuo para alimentos sólidos, viscosos y partículas de alimentos
Campos eléctricos expulsados	Es posible el proceso continuo Alta retención de nutrientes y vitaminas Alta calidad organoléptica como frescura Aplicable a alimentos ácidos (como las esporas no germinarán en alimentos ácidos) Efecto de combinación con otros métodos de conservación para inactivar esporas está bajo investigación	La ampliación de los equipos está todavía bajo desarrollo Limitado a productos líquidos Las esporas no son sensibles Depende efectivamente de la conductividad eléctrica del alimento
<b><u>Invasado activo</u></b>	<b>Recolectores de oxígeno en sobre son efectivos</b> <b>Permite un tratamiento de la superficie de productos alimenticios</b> <b>Facilita el procesamiento</b>	<b>Recolectores de oxígeno incorporados en una película de envasado muestran a menudo efectividad limitada</b> <b>Incompatibilidad con legislación</b> <b>Cantidades de la migración del compuesto activo no son menudo sustanciales</b> <b>Los compuestos activos deben ser termoestables cuando son incorporados en películas plásticas</b>
Compuestos naturales antimicrobianos	Etiquetado verde Imagen natural	A menudo costoso Interacción con ingredientes de los alimentos Baja solubilidad acuosa Cambia las propiedades organolépticas
Bacteriocinas	Imagen natural	Reducen el espectro de actividad Pérdida espontánea de bacteriogenicidad Difusión limitada en matrices sólidas Inactivación a través de enzimas proteolíticas Interacción con ingredientes alimenticios Bacterias resistentes a bacteriocinas
Cultivos protectores	Etiquetado verde Imagen natural	A veces difícil aplicar Inestable al calor Efectividad no siempre probada en productos alimenticios

Además, estas técnicas de envasado activo deben ser baratas (dependiendo del valor del producto empacado), seguras y estéticamente aceptables (Ahvenaine, 1997; Gontard, 2008; Lee, 2010). Sin embargo, tanto los propietarios de marcas como los convertidores de envase identificaron como resistencia principal para la introducción de estos materiales en el mercado el hecho de que los materiales existentes fueron considerados no adecuados para las necesidades del mercado (Gontard, 2008) (ver Tabla 2.6.2).

**Tabla 2.6.2 Valoración de la importancia de factores que restringen la adopción del envase activo e inteligente (Gontard, 2008).**

<b>Valoración de la importancia de factores que restringen la adopción de del envase activo e inteligente de acuerdo a los propietarios de marca, convertidores de envase y proveedores de tecnología (Anónimo, 2006)</b>			
<b>Resistencia a la introducción del envase Activo e Inteligente</b>	<b>Propietarios de marcas</b>	<b>Convertidores de envase</b>	<b>Proveedores de tecnología</b>
Embalajes existentes más adecuados	1	1	8
Precio	2	5	5
Demanda no percibida	3	3	11
Análisis costo/beneficio	4	4	12
Dispuesto a pagar a precio elevado	5	2	10
Incompatible con técnicas de empaque existentes	6	5	8
Largo proceso de aprobación regulatoria	7	7	5
Preocupaciones del consumidor	8	10	4
Tecnología ineficaz	8	12	1
Preocupaciones de seguridad	10	7	12
Tecnología no aprobada	11	11	2
Preocupaciones legislativas	12	7	2
Oposición por parte de comerciantes	13	12	5

## 2.6.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL EMPLEO DE ENVASES ACTIVOS

### VENTAJAS QUE PROPORCIONA EL USO DE ENVASES ACTIVOS

- Pueden conferir muchos beneficios de preservación en un amplio rango de alimentos (Devlieghere, 1999; De Jong, 2005; Day, 2008).
- Es una alternativa al uso del envase tradicional de conservación, envasado por atmósfera modificada, envasado al vacío y aplicación de conservadores ya que proporciona algunas funciones adicionales aunque su efectividad aumenta en combinación con los métodos tradicionales (Ahvenainen, 1997; Devlieghere, 1999; Nielsen, 2000; Devlieghere, López-Rubio & Ozdemir, 2004; Miltz, 2005; Coma, 2008; Gavara & Lee, 2010).
- Capacidad de respuesta del envase frente a los cambios que se producen en el alimento, haciendo algo más que protección, interactuando con los productos de forma benéfica (Hong, 2000; García, 2008).
- Son sistemas prácticos y simples (Smith, 1990).
- Permiten a la industria la posibilidad producir alimentos de alta calidad y alto valor agregado (Devlieghere, 1999).
- Reducción del empleo de aditivos o conservadores que pueden incorporarse en el mismo envase (García, 2008).
- Las inversiones de capital necesarios son significativamente más baratos con el envasado activo que en el envasado con gas. Básicamente, sólo los sistemas que sellan son necesarios. Esto tiene un gran significado para empresas de alimento de pequeñas y mediano tamaño (SME) para las cuales

las máquinas de envasado son frecuentemente la inversión más costosa (Ahvenainen, 1997; Suppakul, 2003).

- Reducción de costos si se compara con el envasado en atmósfera modificada (Ahvenainen, 1997; García, 2008).
- Operaciones como calentamientos, enfriamientos, o fermentaciones pueden realizarse dentro del mismo envase (García, 2008).
- Limita la contaminación del medio ambiente relacionada al empaque y elimina los problemas que causa el envase tradicional (Ozdemir, 2004; Hong, 2008).
- Reducen la pérdida debido a la calidad mejorada y la vida de anaquel de los productos (Lee, 2010).

## **DESVENTAJAS SOBRE EL USO DE ENVASES ACTIVOS**

- Los métodos de envasado activo significativos comercialmente son visibles (sobres o etiquetas), mientras que los gases envasados son invisibles (Ahvenainen, 1997).
- Una de las principales preocupaciones de la industria es que los consumidores pueden considerar los componentes perjudiciales y no podrían aceptarlos. Además que se da información técnica insuficiente sobre su rendimiento, eficacia y existe falta de entendimiento de cómo aplicarlos efectivamente. De esta manera más información es necesaria sobre los efectos químicos, microbiológicos y fisiológicos de varios conceptos activos en la comida envasada, su función y la importancia de su uso en la calidad y seguridad. Se requiere la aceptación de productores de alimentos,

consumidores y vendedores para permitir una introducción a larga escala de estos sistemas (Day & Gontard, 2008; Miltz, 2005; López-Rubio, 2004; Suppakul, 2003; Devlieghere, 1999; Ahvenainen, 1997).

- Un cuidadoso estudio de impacto ambiental debe ser llevado a cabo antes de que la implementación de estos empaques pueda ser comercialmente considerado, sin embargo los beneficios del envasado activo necesitan ser considerados en un enfoque holístico para esta evaluación. El efecto al medio ambiente de los envases activos a base de plásticos variará con la naturaleza de la combinación producto/envase. Los ingredientes adicionales necesitan ser evaluados para su impacto al medio ambiente (Devlieghere, 1999; López-Rubio, 2004).
- Se debe de evaluar si los consumidores estarán listos para pagar el costo extra por las herramientas de seguridad/calidad extra ya que sería un envase altamente especializado y conteniendo frecuentemente tecnologías sofisticadas, los materiales de envasado activo e inteligente siguen representado el 50-100% del costo total de los envases. Esto es simplemente no razonable para la mayoría de las industrias de alimentos, donde el costo del envase puede difícilmente exceder el 10% del costo total de los artículos colocados en el mercado, y donde las actuaciones especiales de embalaje pueden ser deseados siempre que sean suministrados en precios de productos básicos (esto puede ser menos crítico para otros mercados como envases médicos donde el costo del envase es proporcionalmente menos importante). La rentabilidad de los dispositivos de envasado activo depende de los beneficios percibidos derivados de tales sistemas (Kerry, 2006). Considerando los costos, es obvio, que los costos se reducirán drásticamente con una aplicación más amplia y por tanto ampliación de la producción (Gontard, 2008; De Jong, 2005).

- Hasta el momento la investigación se ha concentrado principalmente en el desarrollo de varios métodos y sus pruebas en un sistema modelo pero no tanto en el funcionamiento de la preservación de alimento en productos alimenticios reales. Las condiciones frecuentemente son muy diferentes entre pruebas modelo y las de alimento real, por ejemplo difiere la cantidad de producto alimenticio envasado, relación y distribución de partes grasas y no grasas, fluctuaciones y variación de parámetros físicos y químicos tales como actividad del agua, pH, etc. (Gontard, 2008; López-Rubio, 2004; Devlieghere, 1999; Ahvenaine, 1997).
- Los consumidores con frecuencia no perciben los materiales activos como un fuerte beneficio. La actitud de los consumidores es con frecuencia impulsada por la idea de que el alimento con vida de anaquel más corto es más fresco y un concepto como los recolectores de oxígeno que extiende la vida útil no puede ser visto como atractivo, sin embargo conveniente en ciertas situaciones pero con la disminución de frescura (Gontard, 2008).

## **2.6.2 RAZONES POR LAS CUALES CADA PAÍS O ZONA LOS ACEPTA O LOS RECHAZA**

**EUROPA.** Sólo algunos de estos sistemas han sido desarrollados y están siendo aplicados. Comparado a Japón, USA o Australia la introducción de envasado activo en el mercado Europeo está retrasado particularmente debido a las estrictas regulaciones Europeas para materiales de contacto con alimentos que existían las cuales no permitían las innovaciones tecnológicas en el sector de envasado de alimentos (Devlieghere, 1999; Gontard, 2008). La Legislación Europea ha sido cambiada en 2004 con el nuevo Marco de Regulación FCM (1935/2004) y en el 2009 con la recientemente integración de la Regulación 450/2009/EC (Gontard, 2008). La

nueva Regulación establece requisitos específicos también para la comercialización de materiales y artículos activos e inteligentes destinados a venir en contacto con alimento.

Por otra parte la falta de conocimiento sobre la aceptación de los consumidores debido al comportamiento más conservativo de los consumidores Europeos con respecto a las innovaciones en alimentos, aspectos económicos y el impacto ambiental de estos nuevos conceptos y, en particular, la falta de fuerte evidencia de su efectividad demostrada por investigadores independientes ha inhibido el uso comercial (Ahvenainen, 1997; Devlieghere, 1999; De Kruijf, 2002; López-Rubio, 2004; Coma, 2008). Otro punto el existente temor de ingestión accidental de los dispositivos activos (Day, 2008).

Se han hecho múltiples estudios sobre las actitudes actuales del consumidor en un número de países Europeos, mostrando que los mayores consumidores están abiertos a innovaciones en esta área de envasado mientras se demuestre que el material sea seguro y que la información no sea ambigua para el usuario (Restuccia, 2010).

**JAPÓN.** Por una variedad de razones se han colocado en el mercado incluyendo la aceptación de los consumidores de envases innovadores y el clima caliente y húmedo en Japón durante los meses de verano, el cual conduce al deterioro por moho de los productos alimenticios (Day, 2002). Además los japoneses aceptan el costo relativamente mayor del alimento empacado y ellos son más receptivos a la colocación de un empaque con químicos en su alimento que la gente en otros países (Ahvenainen, 1997).

**USA.** Aunque ya están siendo empleados exitosamente los sistemas de envasado activo y a pesar de conocer los beneficios que ofrecen estos sistemas de envasado a la industria de alimentos existen varias características comunes de los sistemas absorbedores que producen inquietud en este mercado. El mayor miedo en los USA

es a la ingestión accidental del recolector y a la naturaleza de flotar del empaque los cuales podrían ser resueltos mediante la fijación del absorbedor al material de envasado o por la incorporación de químicos directamente en la película (Day, 2008; Ahvenainen, 1997).

**OTROS PAÍSES.** En Finlandia se reveló que los nuevos conceptos de envasado activo serían aceptados si los consumidores son bien informados por los canales de información fiables (Devlieghere, 1999).

La Tabla 2.6.3 resume algunos problemas potenciales y las soluciones que la industria de alimento deberá tomar en cuenta antes que decidir el usar la técnicas de envasado activo.

**Tabla 2.6.3 Problemas y soluciones encontradas con la introducción de nuevos productos usando técnicas de envasado activo. Ahvenainen (1997).**

<b>Problema/miedo</b>	<b>Solución</b>
Actitud del consumidor	Investigación del consumidor: educación e información
Dudas del rendimiento	Pruebas de almacenamiento antes del lanzamiento Educación e información del consumidor
Costos de envasado incrementado	Uso en la selección, productos de alta calidad Herramientas de mercadotecnia para la calidad incrementada y la garantía de la calidad
Falsa sensación de seguridad, ignorancia de marcas de la fecha	Educación e información del consumidor
Mal manejo y abuso	Compuesto activo incorporado en etiqueta o película de envasado Educación e información del consumidor

## 2.7 DEL USO DE LOS SISTEMAS DE ENVASE ACTIVO EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS EN MÉXICO

Datos estadísticos obtenidos de la AMEE (Asociación Mexicana de Envase y Embalaje) sobre la situación actual de la industria del envase y el embalaje en México son mostrados en la revista Mundo Alimentario.

Estadísticas Sobresalientes de la Industria Nacional de Empaque y Embalaje

### Panorama de la industria en cifras para el 2008

Fig. 2.7.1. Producción Nacional 2008

8,634,843 Toneladas

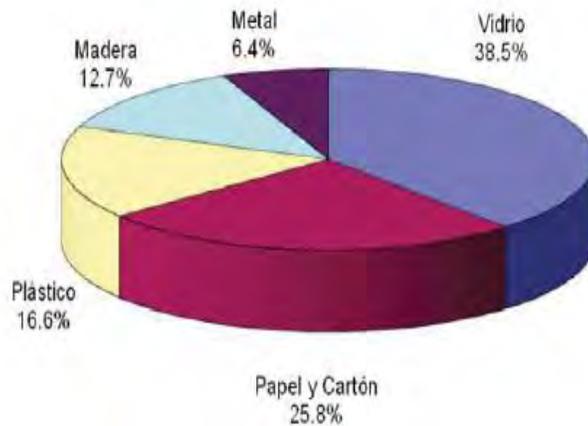
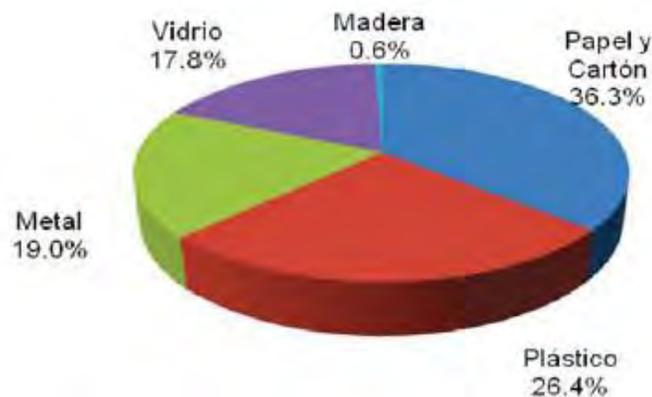


Fig. 2.7.2 Valor de las ventas 2008

8,268.8 Millones de dólares



## CIFRAS DE LA INDUSTRIA DE ENVASE Y EMBALAJE EN MÉXICO

**Tabla 2.7.1**

Industria de Envase y Embalaje en México 2008						
	Madera	Metal	Papel y Cartón	Plástico	Vidrio	Total de la Industria
Producción Nacional (Toneladas)	1,098,733	552,683	2,227,893	1,435,077	3,320,457	<b>8,634,843</b>
Valor de la Producción (Millones de Dólares)	47.1	1,574.2	3,035.3	2,257.2	1,561.6	<b>8,475.4</b>
Valor de las Ventas (Millones de Dólares)	47.0	1,574.9	3,004.8	2,186.8	1,473.3	<b>8,286.8</b>
Personal Ocupado (No. de Personas)	1,108	8,443	22,333	24,497	13,538	<b>69,919</b>
Importaciones (Toneladas)	83,379	39,517	975,635	854,166	23,768	<b>1,976,465</b>
Exportaciones (Toneladas)	63,620	56,492	59,261	385,089	328,905	<b>893,367</b>
Cons. Nal. Aparente (CNA) (Toneladas)	1,118,492	535,708	3,144,267	1,904,154	3,015,320	<b>9,717,941</b>
Importaciones (Millones de Dólares)	34.8	320.8	164.2	1,808.5	42.8	<b>2,371.1</b>
Exportaciones (Millones de Dólares)	36.9	275.8	57.4	509.0	194.0	<b>1,073.1</b>
Aprovechamiento de la Capacidad Instalada	80.0%	85.0%	82.5%	87.5%	93.0%	<b>85.6%</b>
Consumo Per Cápita (Kilogramos)	10.5	5.0	29.5	17.9	28.3	<b>91.1</b>

Fuente: AMEE con datos de socios, CANAFEM, CNICP, INEGI, Banxico y SHyCP.  
Población estimada en 2008: 106.7 millones de personas

**Tabla 2.7.2**

Producción de Envases y Embalajes en México										
Toneladas										
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Madera	1,478,995	1,474,770	1,368,620	1,264,189	1,273,602	1,290,159	1,246,464	1,196,465	1,172,536	1,098,733
Metal	499,147	529,096	417,554	404,291	410,220	421,190	480,645	506,120	531,426	552,683
Papel y Cartón	2,097,800	2,185,500	2,193,300	2,222,000	2,155,340	2,191,762	2,224,143	2,201,503	2,230,123	2,227,893
Plástico	935,288	1,103,640	1,147,785	1,182,219	1,249,605	1,283,341	1,302,591	1,348,819	1,382,540	1,435,077
Vidrio	2,703,963	2,758,042	2,811,733	2,952,320	2,863,750	2,915,298	3,063,979	3,253,946	3,423,151	3,320,457
<b>Total</b>	<b>7,715,193</b>	<b>8,051,048</b>	<b>7,938,992</b>	<b>8,025,019</b>	<b>7,952,517</b>	<b>8,101,750</b>	<b>8,317,822</b>	<b>8,506,853</b>	<b>8,739,776</b>	<b>8,634,843</b>

Fuente: AMEE con datos de socios, CANAFEM, CNICP, INEGI y SHyCP.

**Tabla 2.7.3**

Consumo de Envases en México										
Toneladas										
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Madera	1,461,219	1,437,613	1,358,619	1,289,362	1,331,827	1,343,030	1,298,630	1,211,626	1,183,354	1,118,492
Metal	524,712	569,189	463,515	464,578	431,966	434,113	495,986	523,268	535,083	535,708
Papel y Cartón	2,641,570	2,841,400	2,914,100	2,838,224	2,804,791	2,851,025	2,893,019	2,937,792	2,943,475	3,144,267
Plástico	1,110,749	1,260,471	1,444,762	1,481,167	1,572,440	1,637,788	1,704,000	1,829,006	1,846,170	1,904,154
Vidrio	2,388,307	2,364,911	2,439,553	2,621,428	2,491,568	2,507,780	2,703,289	2,874,386	3,083,411	3,015,320
<b>Total</b>	<b>8,126,557</b>	<b>8,473,584</b>	<b>8,620,549</b>	<b>8,694,759</b>	<b>8,632,592</b>	<b>8,773,736</b>	<b>9,094,924</b>	<b>9,376,078</b>	<b>9,591,493</b>	<b>9,717,941</b>

Fuente: AMEE con datos de socios, CANAFEM, CNICP, INEGI.

Castro (2008) menciona, en base a la investigación de la Asociación Mexicana de Envase y Embalaje (AMEE), que en la actualidad se puede hablar de tres factores que determinan la tendencia en los empaques:

*Sustentabilidad.* Las empresas buscan reducir el impacto ambiental de los empaques con un menor consumo energético, desde la producción de la materia prima hasta la disposición final del envase. Esto no es sólo con un fin ambiental, sino también como un elemento crítico de competitividad, pues el objetivo es que haya un balance entre eficiencia, funcionalidad y costo.

*Mercadotecnia.* El envase es un elemento fundamental en la experiencia que el consumidor tiene con el producto desde su elección en el punto de venta, compra, transporte y almacenamiento, hasta su disposición final. Por tal motivo, el éxito o fracaso de un producto también depende de la imagen que presente y el confort que el diseño ofrezca.

*Conveniencia.* Los cambios en los estilos de vida, la nueva geografía, el aumento de la población urbana, la composición de las familias, los cambios en los ámbitos

laborales y la conciencia que se ha tomado respecto a la salud ha afectado las características de los productos y, por ende, de los empaques.

México tiene un importante liderazgo dentro de la industria del empaque y embalaje, sin embargo, los retos que debe enfrentar incluyen el desabasto de materias primas básicas, el combate a la piratería, la sustentabilidad y el uso.

El envase activo ya se encuentra en algunos productos a la venta en México, sin embargo no ha encontrado un lugar considerable en el mercado como se observó en las cifras anteriores, sólo se consideran los envases convencionales. Esto último se debe a factores como son:

- Embalajes existentes más adecuados
- Consideración de un precio elevado por esta tecnología
- Demanda no percibida
- Análisis costo/beneficio no aceptable
- No existe la disposición a pagar a precio elevado el producto
- Incompatibilidad con técnicas de empaque existentes
- Incompatibilidad con las normas de regulación
- Preocupaciones del consumidor
- Oposición por parte de comerciantes

Hasta superar estos factores el uso de los sistemas de envasado activo podría aumentar.

**CAPÍTULO 3.**  
**DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

## **CAPÍTULO 3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

### **3.1 DISCUSIONES**

Este proyecto de tesis tomó en cuenta aspectos generales relevantes del envase activo para un análisis de su situación actual en la industria de alimentos dejando así una visión más clara y amplia de estos sistemas.

En algunas tecnologías de envasado activo no fueron descritos con precisión tanto el fundamento en el que se basan como su efectividad debido a que estos sistemas no han desarrollado el interés suficiente en la industria de alimentos para una mayor inversión en su investigación y producción, por lo que no se lograron encontrar datos para describirlos con el detalle que fueron descritos algunos otros.

No se profundizaron adecuadamente las razones por las cuales cada país ha introducido este tipo de sistemas en su mercado ya que estos envases aún no han alcanzado una posición relevante en dichos mercados por lo que no se encuentra disponible suficiente información para cubrir como se esperaba este tema. Por esta misma razón tampoco se logró mostrar el aumento de precio que involucra la aplicación de los envases activos en productos ya encontrados en el mercado.

El resultado de este proyecto de tesis puede ser útil para aquellas personas que deseen consultar una fuente que les proporcione información sobre el fundamento, aplicación, desarrollo y situación actual del envase activo, entre otros aspectos. De esta forma se busca impulsar el uso de estos nuevos envases en la industria de alimentos poniendo a disposición la información para aquellos interesados en introducir un producto con este tipo de sistemas de conservación de alimentos o tal vez para reemplazar el envase que actualmente manejan y así conservar o mejorar la calidad de su producto, su manejo y comercialización. O incluso, como se mencionó anteriormente, puede ayudar a la elaboración de regulaciones que permitan su acceso a un nuevo mercado.

Es necesario que en el futuro se invierta más investigación al estudio del impacto ambiental que producen estos sistemas y al manejo de residuos del envase activo ya que al ser un tipo de envase novedoso hasta ahora no se han reportado estudios que puedan proporcionar información más clara y específica sobre estos temas. Debido a lo anterior no se pudo contemplar este aspecto de los envases activos en el proyecto.

### **3.2 CONCLUSIONES**

El envase activo ofrece múltiples beneficios y nuevas opciones para resolver los problemas que hasta el momento han sido difíciles de resolver con los envases convencionales.

Hoy en día la tecnología de envase activo sigue en desarrollo y requiere de más inversión para conocer con mayor precisión su potencial y sus limitaciones en la industria de alimentos. Países como Japón, Estados Unidos, la UE entre otros países desarrollados han invertido en mayor medida en investigación para el desarrollo de productos alimenticios envasados con sistemas activos, ya que estos países reconocen todos los beneficios que tiene el empleo de estos sistemas, y debido a su desarrollo y crecimiento económico así como a su actitud positiva a adoptar nuevos sistemas de envasado que ayuden a mejorar la calidad, seguridad y distribución de los productos alimenticios. México es un país que por el momento no está dispuesto a invertir en este mismo desarrollo ya que considera que los sistemas de envasado convencional son la mejor opción para su economía y satisfacen sus necesidades actuales.

El envase activo se está adaptando cada vez más a las requerimientos de la industria de alimentos dando como resultado una amplia variedad de sistemas con este tipo de tecnología ofreciendo buenas opciones para que poco a poco se pueda considerar su aplicación en casi todo tipo de productos alimenticios obteniendo así

un lugar considerable en el mercado y se estima que tendrá un mayor crecimiento en los próximos años.

Por su interacción deliberada con el alimento y/o su entorno el envase activo requiere un planteamiento nuevo para la evaluación de su seguridad en comparación al envasado tradicional, tomando en cuenta como principales riesgos la migración de sustancias del envase al alimento, el uso incorrecto del envase debido al etiquetado insuficiente o una operación no eficaz del envase activo.

También se debe tener especial cuidado en el uso mal intencionado de los sistemas activos en los posibles casos de querer engañar al consumidor, ocultar algún defecto en el procesamiento del producto o en su almacenamiento, aumentando de esta manera la probabilidad de riesgo de aparición de un problema de salubridad. Con esta preocupación es indispensable el desarrollo de nuevas normas específicas para el control de la elaboración, comercialización y distribución de estos envases en cada país donde se intente introducir al mercado este tipo de tecnologías de envasado.

Debido a lo anterior una de las principales limitaciones para la aplicación del envase activo es la falta de normas de regulación adecuadas al uso, comercio y distribución de estas tecnologías. Hasta el momento sólo EEUU ha tomado la iniciativa de elaborar normas específicas para este tipo de envases.

El consumidor juega un papel importante en el diseño del empaque activo. Los deseos del consumidor impulsan la venta de productos, y el empaque es una herramienta indispensable de venta. Los consumidores dictan que es producido por lo que ellos escogen comprar, y la industria producirá lo que los consumidores demanden si puede ser rentablemente hecho. Por lo anterior está claro que es necesario informar a los consumidores sobre los múltiples beneficios que trae consigo el uso de envases activos en la industria de alimentos, su funcionamiento, sus capacidades y sobre la seguridad de estos para así cambiar toda actitud errónea que puedan tener hacia estas tecnologías y de esta manera introducir con menos dificultad este tipo de envases al mercado y a la industria de alimentos.

Antes de introducir al mercado algún producto alimenticio aplicando el envase activo es necesario tomar en cuenta: los aspectos legales, el impacto a la calidad y seguridad del producto, la eficacia del sistema en el alimento que deseamos conservar, el impacto al mercado al que se introduce, la demanda del consumidor y los comerciantes, y qué tan rentable sería la aplicación del sistema en el producto.

## **REFERENCIAS**

## REFERENCIAS

### ARTÍCULOS DE REVISTAS CIENTÍFICAS

1. Ahvenainen, R., Hurme, E., 1997. Active and smart packaging for meeting consumer demands for quality and safety. *Food Additives and Contaminants*, 14, No. 6-7, pp. 753-763.
2. Belcher, J., 2006. Industrial packaging developments for the global meat market. *Meat Science*, 74, pp. 143-148.
3. Charles, F., Sanchez, J., Nathalie, G., 2006. Absorption kinetics of oxygen and carbon dioxide scavengers as part of active modified atmosphere packaging. *Journal of Food Engineering*, 72, pp. 1-7.
4. Cruz, J., Pereira de Abreu, D., Paseiro Losada P., Maroto, J., 2010. Evaluation of the effectiveness of a new active packaging film containing natural antioxidants (from barley husks) that retard lipid damage in frozen Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Food Research International*, 43, pp. 1277-1282.
5. Cruz, J., Pereira de Abreu, D., Paseiro Losada P., 2011. Lipid damage during frozen storage of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) in active packaging film containing antioxidants. *Food Chemistry*, 126, pp. 315-320.
6. Coma, V., 2008. Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products. *Meat Science*, 78, pp. 90-103.

7. Dawson, P., Park, S., Marsh, K., 2010. Application of chitosan-incorporated LDPE film to sliced fresh red meats for shelf life extension. *Meat Science*, 85, pp. 493-499.
8. Day, P., 2008. Active Packaging of Food. *Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods*, 126-01, pp. 1-18.
9. De Jong, A., Boumans, H., Slaghek, T., Van Veen, J., Rijk, R., Van Zandvoort, M., 2005. Active and intelligent packaging for food: Is it the future? *Food Additives and Contaminants*, 22, pp. 975-979.
10. De Kruijf, N., Van Beest, M., Rijk, R., Sipiläinen-Malm, T., Paseiro Losada, P., De Meulenaer, B., 2002. Active and intelligent packaging: applications and regulatory aspects. *Food Additives and Contaminants*, 19, pp. 144-162.
11. Del Nobile, M., Buonocore, G., Panizza, A., Corbo, M., Nicolais, L., 2003. A general approach to describe the antimicrobial agent release from highly swellable films intended for food packaging applications. *Journal of Controlled Release*, 90, pp. 97-107.
12. Del Nobile, M., Conte, A., Buonocore, G., Incoronato, A., Massaro, A., Panza, O., 2009. Active packaging by extrusion processing of recyclable and biodegradable polymers. *Journal of Food Engineering*, 93, pp. 1-6.
13. Del Nobile, M., Costa, C., Lucera, A., Conte, A., Mastromatteo, M., Speranza, B., Antonacci, A., 2011. Effects of passive and active modified atmosphere packaging conditions on ready-to-eat table grape. *Journal of Food Engineering*, 102, pp. 115-121.

14. Devlieghere, F., Vermeiren, L., Van Beest, M., De De Kruijf, N., Debevere, J., 1999. Developments in the active packaging of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 10, pp. 77-86.
15. Devlieghere, F., Vermeiren, L., Debevere, J., 2004. New preservation technologies: Possibilities and limitations. *International Dairy Journal*, 14, pp. 273-285.
16. Foltynowicz, Z., Kozak, W., Fiedorow, Ryszard, 2002. Studies of Oxygen Uptake on O<sub>2</sub> Scavengers Prepared from Different Iron-containing Parent Substances. *Packag. Technol. Sci.*, 15, pp. 75-81.
17. Fukuzawa, K., Matsuura, K., Tokumura, A., Suzuki, A., Terao, J., 1997. Kinetics and Dynamics of Singlet Oxygen Scavenging by  $\alpha$ -Tocopherol in Phospholipid Model Membranes. *Free Radical Biology & Medicine*, 22, pp. 923-930.
18. Galic, K., Scetar, M., Kurek, M., 2011. The benefits of processing and packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 22, 127-137.
19. Gavara, R., López-de-Dicastillo, C., Gallur, M., Catalá, R., Hernández-Muñoz, P., 2010. Immobilization of  $\beta$ -cyclodextrin in ethylene-vinyl alcohol copolymer for active food packaging applications. *Journal of Membrane Science*, 353, pp. 184-191.
20. Gavara, R., López-de-Dicastillo, C., Catalá, R., Hernández-Muñoz, P., 2011. Food applications of active packaging EVOH films containing cyclodextrins for the preferential scavenging of undesirable compounds. *Journal of Food Engineering*, 104, pp. 380-386.

21. Gontard, N., Dainelli, D., Spyropoulos, D., Zondervan-van den Beuken, E., Tobback, P., 2008. Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. *Trends in Food Science & Technology*, 19, pp. S103-S112.
22. Han, J., 2000. Antimicrobial Food Packaging. *Food Technology*, 54, No. 3, pp. 56-65.
23. Hong, S., Park, W., 2000. Use of color indicators as an active packaging system for evaluating kimchi fermentation. *Journal of Food Engineering*, 46, pp. 67-72.
24. Hong, S., Son, S., Lee, J., 2008. Characterization of protein-coated polypropylene films as a novel composite structure for active food packaging application. *Journal of Food Engineering*, 86, pp. 484-493.
25. Isdell, E., Allen, P., Doherty, A., Butler, F., 1999. Colour stability of six beef muscles stored in a modified atmosphere mother pack system with oxygen scavengers. *International Journal of Food Science and Technology*, 34, pp. 71-80.
26. Kerry, J., O'Grady, M., Hogan, S., 2006. Past, current and potential utilization of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. *Meat Science*, 74, pp. 113–130.
27. Lee, K., 2010. Quality and safety aspects of meat products as affected by various physical manipulations of packaging materials. *Meat Science*, 86, pp. 138-150.

28. Lagaron, J., López-Rubio, A., Gavara, R., 2006. Bioactive packaging: turning foods into healthier foods through biomaterials. *Trends in Food Science & Technology*, 17, pp. 567-575.
29. López-Rubio, A., Almenar, E., Hernández-Muñoz, P., Lagarón, J., Catalá, R., Gavara, R., 2004. Overview of Active Polymer-Based Packaging Technologies for Food Applications. *Food Reviews International*, 20, pp. 357-387.
30. Mahalik, N., Nambiar, A., 2010. Trends in food packaging and manufacturing systems and technology. *Trends in Food Science & Technology*, 21, pp. 117-128.
31. Markarian, J., 2006. Consumer demands push growth in additives for active packaging. *Plastics Additives & Compounding*, September/ October, pp. 30-33.
32. Marsh, K., Bugusu, B., 2007. Food Packaging-Roles, Materials, and Environmental Issues. *Journal of Food Science*, 72, pp. 39-55.
33. Meroni, A., 2000. Active Packaging as an Opportunity to Create Package Design that Reflects the Communicational, Functional and Logistical Requirements of Food Products. *Packag. Technol. Sci*, 13, pp. 243-248.
34. Mills, A., Doyle, G., Peiro, A., Durrant, J., 2006. Demonstration of a novel, flexible, photocatalytic oxygen-scavenging polymer film. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 177, pp. 328–331.
35. Miltz, J., Perry, M., 2005. Evaluation of the Performance of Iron-based Oxygen Scavengers, with Comments on their Optimal Applications. *Packag. Technol. Sci.*, 18, pp. 21-27.

36. Mortensen, G., Petersen, K., Nielsen, P., Bertelsen G., Lawther, M., Olsen, M., Nilsson, N., 1999. Potential of biobased materials for food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 10, pp. 52-68.
37. Nerín, C., Salafranca, J., Pezo, D., 2009. Assessment of specific migration to aqueous simulants of a new active food packaging containing essential oils by means of an automatic multiple dynamic hollow fibre liquid phase microextraction system. *Journal of Chromatography A*, 1216, pp. 3731-3739.
38. Nielsen, P., Rios, R., 2000. Inhibition of fungal growth on bread by volatile components from spices and herbs, and the possible application in active packaging, with special emphasis on mustard essential oil. *International Journal of Food Microbiology*, 60, pp. 219-229.
39. Olhsson, T., 1994. Minimal processing preservation methods of the future: an overview. *Trends in Food Science & Technology*, 5, pp. 341-344.
40. Ozdemir, M., Floros, J., 2004. Active Food Packaging Technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44, pp. 185-193.
41. Paseiro-Losada, P., López-Cervantes, J., Sánchez-Machado, D., Pastorelli, S., Rijk, R., 2003. Evaluating the migration of ingredients from active packaging and development of dedicated methods: a study of two iron-based oxygen absorbers. *Food Additives and Contaminants*, 20, pp. 291-299.
42. Piette, G., Ouattara, B., Simard, R., Bégin, A., Holley, R., 2000. Inhibition of surface spoilage bacteria in processed meats by application of antimicrobial films prepared with chitosan. *International Journal of Food Microbiology*, 62, pp. 139-148.

43. Quintavalla, S., Vicini, L., 2002. Antimicrobial food packaging in meat industry. *Meat Science*, 62, pp. 373-380.
44. Restuccia, D., Spizzirri, U., Parisi, O., Cirillo, G., Curcio, M., Iemma, F., Puoci, F., Vinci, G., Picci, N., 2010. New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry applications. *Food Control*, 21, pp. 1425-1435.
45. Roncalés, P., Beltrán, J., Camo, J., 2008. Extension of the display life of lamb with an antioxidant active packaging. *Meat Science*, 80, pp. 1086-1091.
46. Roncalés, P., Camo, J., Lorés, A., Djenane, D., Beltrán, J., 2011. Display life of beef packaged with an antioxidant active film as a function of the concentration of oregano extract. *Meat Science*, 88, pp. 174-178.
47. Salafranca, J., Davinson, P., Nerín, C., 2007. Development of an automatic multiple dynamic hollow fibre liquid-phase microextraction procedure for specific migration analysis of new active food packagings containing essential oils. *Journal of Chromatography A*, 1174, pp. 85-94.
48. Salafranca, J., Pezo, D., Nerín, C., 2008. Determination of the antioxidant capacity of active food packagings by in situ gas-phase hydroxyl radical generation and high-performance liquid chromatography–fluorescence detection. *Journal of Chromatography A*, 1178, pp. 126-133.
49. Scannell, A., Hill, C., Ross, R., Marx, S., Hartmeier, W., Arendt, E., 2000. Development of bioactive food packaging materials using immobilised bacteriocins Lacticin 3147 and Nisaplin. *International Journal of Food Microbiology*, 60, pp. 241-249.

50. Skandamis, P., Nychas, G., 2002. Preservation of fresh meat with active and modified atmosphere packaging conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 79, pp. 35-45.
51. Smith, J., Ramaswamy, H., Simpson, B., 1990. Developments in food packaging technology. Part I: Processing/cooking considerations. *Trends in Food Science & Technology*, November, pp. 107-110.
52. Smith, J., Ramaswamy, H., Simpson, B., 1990. Developments in food packaging technology. Part II: Storage aspects. *Trends in Food Science & Technology*, November, pp. 111-118.
53. Strathmann, S., Pastorelli, S., Simoneau, C., 2005. Investigation of the interaction of active packaging material with food aroma compounds. *Sensors and Actuators B*, 106, pp. 83-87.
54. Suppakul, P., Miltz, J., Sonneveld, K., Bigger, S., 2003. Active Packaging Technologies with an Emphasis on Antimicrobial Packaging and its Applications. *Journal of Food Science*, 68, pp. 408-420.
55. Whiteside, S., Byun, Y., Darby, D., Cooksey, K., Dawson, P., 2011. Development of oxygen scavenging system containing a natural free radical scavenger and a transition metal. *Food Chemistry*, 124, pp. 615-619.
56. Yemenicioğlu, A., Arcan, I., 2011. Incorporating phenolic compounds opens a new perspective to use zein films as flexible bioactive packaging materials. *Food Research International*, 44, pp. 550-556.

## **NORMAS Y REGLAMENTOS**

1. REGLAMENTO (CE) No 1935/2004 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 27 de octubre de 2004, sobre los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos y por el que se derogan las Directivas 80/590/CEE y 89/109/CEE.
2. REGLAMENTO (CE) N o 450/2009 DE LA COMISIÓN de 29 de mayo de 2009 sobre materiales y objetos activos e inteligentes destinados a entrar en contacto con alimentos (Texto pertinente a efectos del EEE).
3. Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010, Especificaciones Generales de Etiquetado para Alimentos y Bebidas no Alcohólicas Preenvasados – Información Comercial y Sanitaria.

## **ARTÍCULOS DE DOMINIO PÚBLICO, REVISTA ELECTRÓNICA**

1. Caride, A., Meniño, J. L., Boletín Medio Ambiente (Noviembre, 2011). La interacción envase-alimento para la mejora de los procesos de conservación: envases activos. Recuperado el 26 de Abril del 2012 de [http://www.fiab.es/es/zonadescargas/boletines/monografico\\_envases\\_activos\\_inteligentes.pdf](http://www.fiab.es/es/zonadescargas/boletines/monografico_envases_activos_inteligentes.pdf)
2. Mundo Alimentario (Septiembre/ Octubre, 2009). Estadísticas de la Industria Nacional de Empaque y Embalaje. Recuperado el 26 de Abril del 2012 de [http://www.alimentariaonline.com/media/ma032\\_empaque.pdf](http://www.alimentariaonline.com/media/ma032_empaque.pdf).

## **ARTÍCULOS Y PRESENTACIONES INÉDITOS EXPUESTOS EN CONGRESOS**

### **Artículos:**

1. García López, M. L. (2008). Envasado a vacío y en atmósfera modificada y utilización potencial de los envases activos e inteligentes en la carne de aves. Artículo presentado en la Revista del Comité Científico de la AESAN No. 7.

### **Presentaciones:**

1. Catalá, R., Rafael, G., Innovación en los envases para los productos de la Pesca y la Acuicultura. Presentado en el Congreso Internacional de Calidad de los Productos de la Pesca y de la Acuicultura. Barcelona, 22-23 de mayo de 2008.
2. García, S. Nuevos envases co-inyectados para el envasado de alimentos con sistemas activos y de alta barrera. Presentado en el Foro Tecnológico Empresarial: Nuevos desarrollos en envase plástico alimentario. Zaragoza, 2 de diciembre de 2009.
3. Martí, F. Materiales Termoplásticos en la Producción de Envases Activos para Alimentos. Presentado en la Jornada de Transferencia Tecnológica: Reunión Científico Técnica sobre Investigación en Envase y Embalaje para Alimentos Transformados. Murcia, 11 de febrero de 2009.
4. Yezza, I. A., Active/intelligent packaging: Concept, Applications and Innovations. Presentado en 2008 Technical Symposium. New Packaging Technologies to Improve and Maintain Food Safety. September 18-19, 2008, Toronto.

## MEDIOS ELECTRÓNICOS

1. Castro, L. Manufactura. Tendencias en Empaque y Embalaje. [En línea] (Actualizado el 4 de junio de 2008).  
Disponible en:  
<http://www.cnnexpansion.com/manufactura/tendencias-en-empaque-y-embalaje-1> [Último acceso el 26 de mayo de 2012].
2. Crespo Bermejo, A. Centro Tecnológico Nacional de la Conserva. Aplicación de Envases Activos con Propiedades Antioxidantes y Antimicrobianas para Productos del Cerdo Ibérico [En línea] (Actualizado el 4 de marzo de 2010).  
Disponible en:  
[http://www.ctnc.es/recursos/publico/Ponencias%20CEIDEA/100210Murcia\\_CT AEX.pdf](http://www.ctnc.es/recursos/publico/Ponencias%20CEIDEA/100210Murcia_CT AEX.pdf) [Último acceso el 26 de mayo de 2012].
3. Galet, Ana. Instituto Tecnológico del Embalaje, Transporte y Logística. Envases activos que permiten alargar la vida útil de los alimentos [En línea] (Actualizado el 16 de Noviembre de 2009).  
Disponible en:  
[http://www.ivia.es/nuevaweb/jornadas/Jornada\\_Envases\\_Embalajes/Presentaciones\\_web/01\\_Ana%20Galet\\_ITENE.pdf](http://www.ivia.es/nuevaweb/jornadas/Jornada_Envases_Embalajes/Presentaciones_web/01_Ana%20Galet_ITENE.pdf) [Último acceso el 26 de mayo de 2012].
4. Ponce Alquicira, E. Departamento de Biotecnología Universidad Nacional Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Empaques Activos y Empaques Comestibles [En línea] (Actualizado el 11 de enero de 2012).  
Disponible en:  
<http://www.usapeec.org.mx/home/docs/EmpaquesActivosyComestibles.pdf> [Último acceso el 26 de mayo de 2012].

## **ANEXO**

## ANEXO

### A) CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE ENVASADO ACTIVO

**Tabla A1. Ejemplos de aplicaciones de envase activo para uso en la industria de alimento Kerry (2006); Restuccia (2010)**

Método de acción	Propiedades del alimento en que es aplicado el envase
Propiedades de absorción/recolección	Oxígeno, dióxido de carbono, humedad, etileno, sabor, manchas, luz UV
Propiedades de liberación/emisión	Etanol, dióxido de carbono, antioxidantes, conservadores, dióxido de azufre, sabores, pesticidas
Propiedades de eliminación	Catalizar la eliminación de componentes de alimentos
Control de temperatura	Materiales aislantes, envasado de autocalentamiento, autoenfriamiento, susceptores de microondas y modificadores, envase sensible a la temperatura
Control microbiano y de calidad	Materiales de envasado UV y tratadas en la superficie

**Tabla A2. Ejemplos de envases activos actualmente conocidos. Ozdemir (2004); Restuccia (2010)**

Tipo de sistema de envase activo	Sustancia usada y modo de acción
Recolectores de oxígeno	Sistema enzimático (glucosa oxidasa-glucosa, alcohol oxidasa-vapor de etanol). Sistemas químicos (óxido de hierro en polvo, catecol, carbonato de hierro, hierro-azufre, sal sulfito-sulfato de cobre, oxidación de tinta fotosensible, oxidación de ácido ascórbico, conversión catalítica de oxígeno por catalizador de platino).
Absorción/Emisión de dióxido de carbono	Polvo de hierro-hidróxido de calcio, carbonato de hierro, halogenuros metálicos.
Absorción de humedad	Sílica gel, propilenglicol, alcohol polivinílico, tierra diatomácea.
Absorción de etileno	Carbón activado, sílica gel-permanganato de potasio, Kieselguhr, bentonita, tierra de Fuller, polvo de dióxido de silicón, piedra oya-ishi pulverizada, zeolita, ozono.
Liberación de antioxidante	BHA, BHT, TBHQ, ácido ascórbico, tocoferol
Absorción de sabor	Bicarbonato de sodio, carbón activado
Liberación de sabor	Muchos sabores de alimentos
Que contienen color	Varios colores de alimentos
Antiempañamiento y antiadherentes	Vinyon biorentado, compresión de HDPE orientado en láminas
Absorción y regulación de luz	Agentes bloqueadores UV, hidroxibenzofenona
Controladores de temperatura	Plástico microperforado no tejido
Permeable y respirable a gas	Superficie tratada, perforada o películas microporosas
Susceptores de microondas	Termoplástico metalizado
Repelente de insectos	Fumigantes de baja densidad (piretrinas, permetrina)

**Tabla A3. Evaluación de la composición de algunos sistemas de envasado activo (Ahvenaine, 1997; De Kruijf, 2002; Day, 2008)**

Sistemas de envasado	Ingredientes identificados	Sistemas de envasado	Ingredientes identificados
Recolectores de oxígeno	polvo de hierro sales metálicas sales metálicas/ácido ascorbato/sales metálicas compuestos organometálicos catecol catálisis de Pd/Pt glucosa oxidasa silicatos sulfito cloruro recolector polimérico reacción enzimática	Recolectores de etileno	Plastificante Permanganato de potasio Óxido de aluminio + Permanganato de potasio Cristobalita Cartón activado Zeolita
Absorbedores de humedad	Silicatos Plastificante arcilla fibra de celulosa azúcares sílica gel ácidos etanol glicerol surfactante	Recolectores de olor/sabor	Triacetato de celulosa Papel acetilado Ácido cítrico Sal ferrosa/ascorbato Carbón activado/arcillas/zeolitas
Liberadores de antimicrobianos	Ácidos orgánicos Zeolita de plata Extractos de especias y hierbas Antioxidantes BHA/BHT Antioxidantes vitamina E y C Dióxido de cloro y dióxido de azufre Etanol	Reguladores de humedad	Manta PVA Cloruro de potasio Cloruro de sodio Minerales y arcillas activadas Sílica gel
Envasado de control de temperatura	Plásticos no tejidos Contenedores de doble pared Gas hidrofluorocarbono Cal/agua Nitrato de amonio/agua Cloruro de calcio/agua Super aleaciones corrosivas/agua salada Permanganato de potasio/glicerina	Antioxidantes	BHT BHA Antioxidantes naturales
Emisores de CO <sub>2</sub>	Ácido ascórbico Carbonato ferroso + halogenuro metálico	Recolectores de CO <sub>2</sub>	Hidróxido de calcio + hidróxido de sodio o hidróxido de potasio
Películas compensadoras de temperatura	Polímeros cristalizables de cadena lateral	-	-

## **B) NORMAS APLICABLES A LOS SISTEMAS DE ENVASADO ACTIVO**

### **REGULACIÓN 1935/2004/EC**

**Sobre los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos y por el que se derogan las Directivas 80/590/CEE y 89/109/CEE.**

#### **Finalidad**

Tiene como finalidad garantizar el funcionamiento efectivo del mercado interior en relación con la comercialización en la Comunidad de los materiales y objetos destinados a entrar en contacto directo o indirecto con alimentos, proporcionando al mismo tiempo la base para garantizar un elevado nivel de protección de la salud humana y de los intereses de los consumidores.

#### **Objeto**

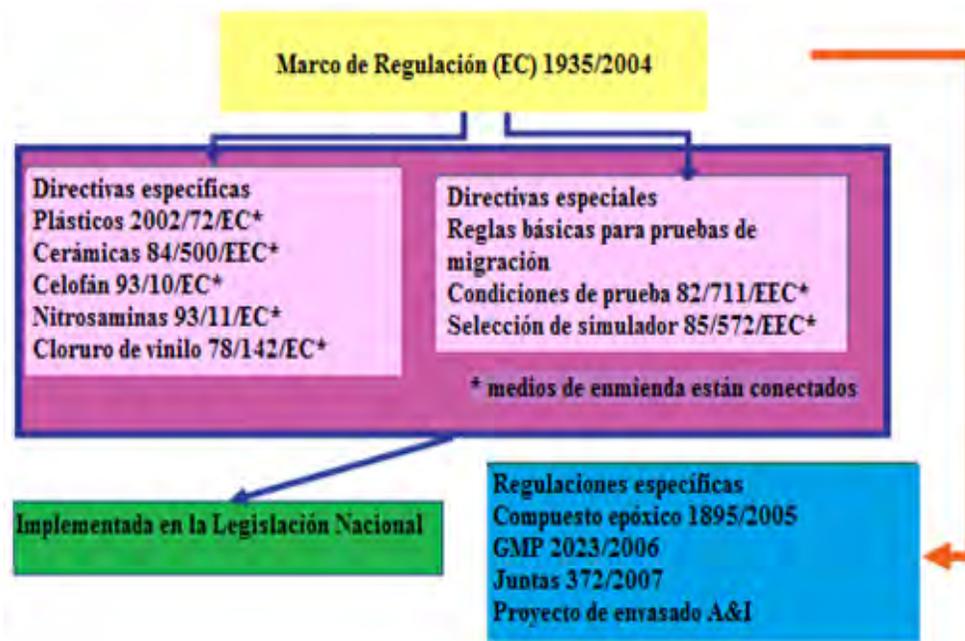
Se aplicará a los materiales y objetos terminados, incluidos los materiales y objetos activos e inteligentes en contacto con alimentos (en lo sucesivo denominados «materiales y objetos»):

- a) que estén destinados a entrar en contacto con alimentos, o
- b) que estén ya en contacto con alimentos y estén destinados a tal efecto, o
- c) de los que quepa esperar razonablemente que entrarán en contacto con alimentos o que transferirán sus componentes a los alimentos en condiciones normales o previsibles de empleo.

Este Marco de Regulación autoriza el uso de envases activos e inteligentes, siempre que el envase pueda ser mostrado para mejorar la seguridad, la calidad y la vida útil de los alimentos envasados (Restucia, 2010).

Para estar en el mercado Europeo, cada sistema deberá cumplir con la legislación. Lo que se refiere a la parte no activa, por ejemplo, el envase de los componentes activos, deberá cumplir con el legislación aplicable en contacto con alimentos (Gontard, 2008).

Bajo la Regulación (EC) 1935/2004, para todo material en contacto con alimento, hay algunas Directivas específicas preexistentes, por ejemplo, la Directiva de plástico 2002/72/EC. Todos los materiales en contacto con alimentos hechos de plástico están sujetos a esta Directiva. Sin embargo, muchos sistemas de envasado activo e inteligente están compuestos de diferentes materiales y están excluidos de la Directiva 2002/72/EC. Estos materiales tienen que cumplir con la legislación nacional que es presentada en algunos países, como son Alemania y Los Países Bajos. Bajo el principio de reconocimiento mutuo, otros países deberán aceptar materiales de contacto producidos en estos países los cuales proporcionandolos a tal país no tienen regulación específica en el campos relevantes (De Jong, 2005; Gontard, 2008) (Fig. B1).



**Fig. B1. Legislación de materiales de contacto con alimentos en EU (Gontard, 2008).**

Además, algunos de los sistemas pueden también estar sujetos a regulaciones sobre aditivos alimentarios, biocidas, etiquetado, ambiente/residuos, atmósfera modificada, higiene alimentario, seguridad, control de peso y volumen (un gas absorbedor o liberador puede influir teóricamente el volumen de un producto alimenticio empacado) (De Jong, 2005; Restuccia, 2010).

El Artículo 1 nota que el propósito de la ley es asegurar un nivel alto de protección de la salud humana y proteger los intereses de los consumidores por lo que la Regulación está siendo aplicada a todos los materiales y artículos (incluyendo envases activos e inteligentes), que en su estado terminado están destinados para el contacto de alimentos, o pueden esperarse razonablemente para el contacto con alimentos, o transferir sus componentes a los alimentos bajo condiciones normales o previsibles de uso (Restuccia, 2010).

De Jong (2005); Gontard (2008); Restuccia (2010) mencionan que el Artículo 3 titulado “requisitos generales” del Marco de Reglamento es particularmente importante ya que establece la proporción para la fabricación de todos los materiales o artículos conforme a las buenas prácticas de manufactura y establece que los materiales en contacto con alimentos no deberán transferir componentes al alimento en cantidades que puedan:

- poner en peligro la salud humana;
- lograr un cambio inaceptable en la composición;
- lograr deterioro en las características organolépticas del mismo

Los sistemas liberadores sin embargo están permitidos para cambiar la composición del alimento, siempre que la sustancia liberada sea un compuesto autorizado.

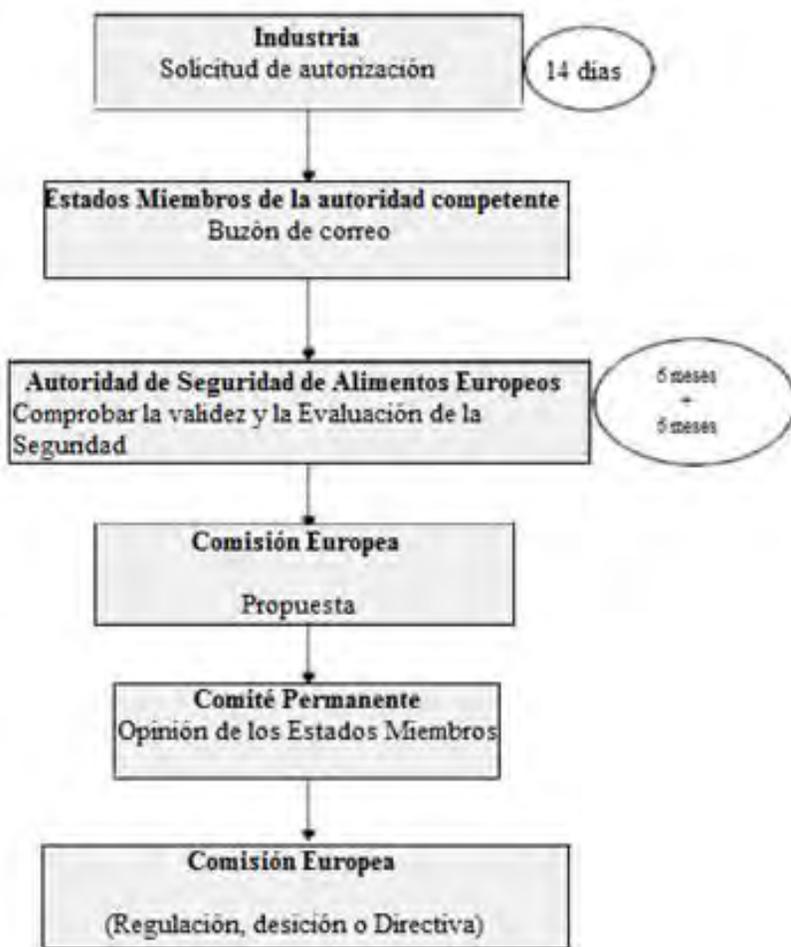
El etiquetado cumplirá con la directiva de aditivos alimentarios; por otra parte la liberación o absorción de la sustancia, la publicidad y la presentación de los materiales son aspectos que no deberán engañar al consumidor.

Gontard (2008); Restuccia (2010) mencionan que el Artículo 4 del Marco del Reglamento describe los requerimientos especiales para los materiales activos e inteligentes en los que las principales cuestiones son:

- Los materiales activos pueden lograr cambios en la composición o en las propiedades organolépticas de los alimentos con la condición de que los cambios cumplan con la disposiciones de la comunidad o nacional aplicable a los alimentos
- Sustancias que son liberados de los envases activos deben ser autorizados y usados en acuerdo con las disposiciones de la comunidad pertinente aplicable al alimento
- Materiales activos no deben llegar a cambiar la composición o las características de los alimentos, por ejemplo por enmascaramiento del deterioro de alimentos que podría engañar al consumidor
- Materiales inteligentes no deberán dar información sobre las condiciones del alimento que podrían engañar al consumidor
- Adecuado etiquetado para permitir la identificación de partes no comestibles
- Adecuado etiquetado para indicar que los materiales son activos y/o inteligentes

Restuccia (2010); De Jong (2005) consideran que el principal aspecto de la nueva Regulación es que todo nuevo sistema de envasado activo e inteligente inicialmente necesita ser evaluado por la Autoridad Europea de Seguridad de Alimentos. Basado en los resultados de la evaluación, la Comisión (DG SANCO) concederá una petición de autorización para el ingrediente/sistema activo e inteligente presentado, que se consignará en la Regulación (Fig. B2). La autorización no es “general” pero es únicamente para la petición (“Titular de la Autorización”). La autorización de los componentes activos e inteligentes debe ser concedido conforme con los Artículos 7-9 de la Regulación 1935/2004/EC, previa presentación de la aplicación. La aplicación estará compuesto de un expediente técnico que contenga información específica y

EFSA dará una opinión dentro de 6+6 meses proporcionando un explicación por el retraso.



**Fig. B2. Procedimiento de autorización como lo define Reg. 1935/2004 EC  
(Restuccia, 2010)**

El Artículo 15 del Reglamento Marco establece que el consumidor y el envasador de alimentos deben estar informados sobre cómo se usan los materiales y artículos activos e inteligentes de forma segura y apropiada. Proporciona autoridad para requerir un etiquetado adecuado donde se necesite para avanzar en la trazabilidad o en la seguridad del uso; contiene una gran cantidad de detalles sobre multilingües

de etiquetado y que los estados pueden hacer para lograr cualquier propuesta local de etiquetado (Gontard, 2008; Restuccia, 2010).

El artículo 16 requiere declaraciones de cumplimiento con las Regulaciones, y la toma de todo dato disponible por las autoridades competentes; permite a los Estados Miembros prescribir sus propias disposiciones en cuanto a declaraciones de cumplimiento (Restuccia, 2010).

El artículo 17 ordena que todos los materiales y artículos son etiquetados o de otro modo identificados, de este manera la trazabilidad puede ser lograda (Restuccia, 2010).

**De acuerdo a la investigación realizada por Gontard (2008) existen pruebas de conformidad por las que deben de pasar los dispositivos o artículos activos de envasado las cuales son:**

El conjunto de directivas (82/711/EEC o 85/572/EEC) establece los requisitos para las pruebas de migración de materiales en contacto con alimento. No todos los sistemas de envase activo e inteligente pueden ser probados de acuerdo a estas Directivas. La distinción debería ser hecha entre sistemas dentro o fuera del envase primario. Los sistemas externos al envase necesitan en general pruebas de no migración mientras haya una “barrera funcional” que reduzca el potencial de migración significativamente. Además, la mayoría de los sistemas inteligentes adjuntos al exterior de los alimentos envasados refiere a productos alimenticios almacenados durante un periodo relativamente corto a temperaturas más bajas. El riesgo de exceder un periodo de tiempo en la difusión es insignificante. Sin embargo, debe de haber una resolución sobre una base caso por caso.

Los sistemas activos y algunos inteligentes que están siempre en contacto “directo” con el alimento. Si el ingrediente activo o inteligente es incorporado en la película plástica, entonces tal material deberá cumplir con las normas convencionales establecidas en las Directivas EU. Tanto la lista positiva y el comportamiento de

migración deberán estar en cumplimiento ya que el modo de contacto así como la relación superficie-volumen es igual para los materiales de envasado normal.

En otros casos, el sistema activo e inteligente está insertado en el envase primario en la forma de una caja, sobre, etiqueta u hoja, conteniendo los típicos ingredientes activos. Generalmente, la relación de alimento-área de contacto es grande y el contacto no es muy intenso. Para establecer los requerimientos de tales sistemas, el tipo y el estado físico del alimento en contacto con el sistema deberán tomarse en cuenta. El sistema puede estar en contacto con alimentos secos, como son café, artículos de panadería, frutas o con alimentos líquidos, como son cerveza, bebidas, o con alimentos semi sólidos, como son carne, pescado, nueces. En caso de alimentos secos, la migración específica de sustancias deberá ser medida directamente en el alimento, ya que no hay pruebas prescritas con simuladores. El contacto con alimentos líquidos debería ser probado de acuerdo a las Directivas 82/711/EEC y 85/572/EEC. En estos casos, no hay razones para desviarse de las normas convencionales. Únicamente en caso de alimentos semisólidos, podría haber problemas que necesiten requerimientos especiales y protocolos de prueba.

El cumplimiento deberá estar probado por el seguimiento de los protocolos de prueba descritas en 82/711/EEC y 85/572/EEC. Sin embargo, los protocolos de prueba pueden en algunos casos, como los de contacto no intencionado o alimentos semi sólidos, exagerar la migración y las pruebas dedicadas necesitan ser aplicadas.

## **REGULACIÓN 450/2009/EC**

**Sobre materiales y objetos activos e inteligentes destinados a entrar en contacto con alimentos.**

### **Objeto**

Establece requisitos específicos para la comercialización de materiales y objetos activos e inteligentes destinados a entrar en contacto con alimentos.

Dichos requisitos específicos no obstan a las disposiciones comunitarias o nacionales aplicables a los materiales u objetos a los que se añaden o incorporan componentes activos o inteligentes.

### **Ámbito de aplicación**

Se aplicará a los materiales y objetos activos e inteligentes que se introduzcan en el mercado comunitario.

Restuccia, (2010) en su investigación menciona los requisitos generales declarados en la Regulación 1935/2004/EC para el uso seguro de envase activo e inteligente ha sido recientemente integrado por la Regulación 450/2009/EC. La nueva Regulación establece requisitos específicos también para la comercialización de materiales y artículos activos e inteligentes destinados a venir en contacto con alimento. Es mencionado que las sustancias responsables por las funciones activas e inteligentes pueden o estar contenidas en contenedores separados (por ejemplo recolectores de oxígeno en sobres pequeños) o estar incorporados directamente en el material de envasado (por ejemplo películas absorbedoras de oxígeno). Por otra parte, los materiales pueden estar compuestos de una o más capas o partes de diferentes tipos de materiales, tales como plásticos, papel o cartón así como recubrimientos y barnices. En contraste con los sistemas de envasado activo, los sistemas de envasado inteligente no deberán de ninguna manera liberar productos químicos en el alimento envasado. Los sistemas inteligentes pueden estar posicionados en la superficie exterior del envase o estar separado del alimento por una barrera (barrera funcional). Únicamente los “componentes” activos e inteligentes deberán estar sujetos a autorización. El “componente activo” significa un sistema basado en sustancias individuales o combinación de sustancias que causan la función activa de un material activo o artículo. Puede liberar sustancias o absorber sustancias en o del alimento empacado o el medio ambiente que rodea el alimento. Significa que, por ejemplo el óxido de hierro y otras sustancias pertinentes para la absorción de oxígeno deben ser incluidos para la autorización, mientras que el envase de “componentes activos” menos crucial para el funcionamiento del sistema no debe ser

considerado. La lista comunitaria de sustancias autorizadas que pueden ser usadas para la fabricación de componentes activos e inteligentes de materiales y artículos activo y/o inteligentes establecidas por la Autoridad Europea de Seguridad de Alimentos (EFSA) que ha realizado una evaluación de riesgo y ha emitido una opinión sobre cada sustancia. Los lineamientos de la EFSA explican cuales factores la autoridad tomará en cuenta cuando haga evaluaciones de seguridad. Estos incluyen por ejemplo las propiedades toxicológicas de los productos y la medida para la cual ellos, o sus productos de la desnaturalización, podrían transferirse en los alimentos. La evaluación de seguridad de la EFSA se enfocará en tres riesgos relacionados a la exposición en la dieta de los productos químicos. Aquellos incluyen:

- Migración de sustancias activas o inteligentes;
- Migración de sus productos de degradación y/o reacción;
- Sus propiedades toxicológicas.

Por otra parte, para cada aplicación la documentación de apoyo deberá estar presente probando que:

- La información del envasado inteligente sea correcto;
- El envasado activo tenga el efecto destinado en el alimento.

Después de revisar el documento, la autoridad dice que emitirá un dictamen, recomendaciones, especificaciones o restricciones sobre las sustancias bajo revisión y la autorización es válida por 10 años (renovación necesaria). La Regulación permite un periodo inicial de 18 meses durante el cual la información en tiempo sobre materiales y artículos activos e inteligentes deberá ser presentado por los solicitantes. Durante este periodo la EFSA aceptará aplicaciones para productos activos e inteligentes que están ya en el mercado (Restuccia, 2010).

Las partes pasivas deberán estar cubiertas por la comunidad específica o la legislación nacional aplicable a estos materiales. En este caso, si un componente liberador activo es incorporado en materiales de plástico, o algún otro material de contacto con el alimento cubiertos por una medida específica de la Comunidad, puede haber un riesgo superior al límite de migración general debido a la liberación de la sustancia activa. Dos excepciones están considerados en este caso: “como la función activa no es una función inherente del material pasivo, la cantidad de sustancia activa liberada no deberá ser calculada en el valor de migración general”. Por otra parte, la migración específica de sustancias activas liberadas puede superar el SML (specific migration limit) siempre que su concentración en alimentos cumpla con la ley de alimentos aplicable (Restuccia, 2010).

Otro Marco Directivo (89/107/EEC) direcciona la regulación (directa) de aditivos alimentarios. Esta legislación aplica para envases activos e inteligentes para que en la medida en que las sustancias están intencionalmente liberadas de los sistemas de envasado o tienen un efecto técnico en el alimento. Los sistemas de envasado activo que intencionalmente liberan sustancias en el empaque deben cumplir con la legislación (directa) de aditivos alimentarios (Regulación 1333/2008/EC), es decir, la sustancias liberadas deben ser listadas en la lista positiva de aditivos y el uso de la sustancia debe lograr una necesidad tecnológica. Siempre y cuando los sistemas de envasado inteligente no sean diseñados para liberar intencionalmente sustancias en o sobre el alimento, la Directiva 89/107/EEC no aplica para estos sistemas. De ello se deduce que, las sustancias incorporadas deliberadamente en los materiales y artículos activos para ser liberados en el alimentos o en el medio ambiente que rodea al alimento, no necesitan estar en la lista de la Comunidad (artículo 5 (2)(a) de la Regulación 450/2009/EC). Ellos son usados en total cumplimiento con la Comunidad relevante y las disposiciones aplicables a alimentos, y deberán cumplir con las disposiciones de la Regulación 1935/2004/EC y sus medidas que implementan (Restuccia, 2010).

Por lo contrario, las sustancias que migran no intencionalmente del envase activo deben cumplir los requisitos de los Artículos 3(1) y 4(1) de la Regulación 1935/2004/EC y su ausencia de migración en el alimento tiene que ser justificada debidamente. Por otra parte las sustancias usadas no pueden ser “carcinogénicas”, “mutagénicas” o “tóxicas a la reproducción” (que se enumeran en el Anexo I para el Consejo Directivo 67/548/EEC; o usando los criterios de responsabilidad propia de acuerdo a las reglas del Anexo VI para la Directiva 67/548/EEC). Los mismo se aplicará a sustancias que están incorporadas en materiales y artículos activos por técnicas tales como injerto e inmovilización, con el fin de tener un efecto tecnológico en el alimento. Sin embargo, para aquellas sustancias ya aprobadas en la legislación de alimentos, su estabilidad bajo el envasado destinado a las condiciones de fabricación y procesado debe estar verificada por el fabricante del envase y un expediente para la evaluación de la seguridad debe ser presentado si la reacción química, la degradación o la descomposición de aquellos es probable que se produzca (Restuccia, 2010).

Los lineamientos de la EFSA no aplican a sustancias usadas detrás de una barrera funcional tal como se define por los Artículos 3 de la Regulación 450/2009/EC (es decir, “barreras funcionales” significan una barrera que consiste de una o más capas de materiales en contacto con el alimento que garantiza que el material o artículo terminado cumple con el Artículo 3 de la Regulación 1935/2004/EC y con la Regulación 450/2009/EC). Las sustancias tales detrás de una barrera, por definición, no migran en cantidades que podrían poner en peligro la salud humana o lograr cambios inaceptables en la composición del alimento o de sus propiedades organolépticas. Consecutivamente, aquellas sustancias activas e inteligentes no necesitan una evaluación de seguridad y están también fuera del ámbito de aplicación de la Regulación 450/2009/EC. De ellos se deduce que detrás de la barrera funcional no se autoriza sustancias que puedan ser usadas, siempre que ellos cumplan ciertos criterios y su migración se mantenga por debajo de un límite de detección determinado (para infantes y otras personas particularmente

susceptibles a la migración de sustancias no autorizadas a través de la barrera funcional no debería exceder 0.01 mg por Kg de alimentos) (Restuccia, 2010).

Cuando la nanotecnología es aplicada, es declarado que ellos no pueden ser usados sin una nueva evaluación, incluso cuando el contacto directo con el alimento envasado no es posible a través de la barrera funcional (artículo 5(2)(c)ii de la Regulación 450/2009/EC). Las nanopartículas deberían ser objeto de una evaluación caso por caso hasta que se conozca más información sobre esta nueva tecnología (migración máxima de 0,01 mg por kg) (Restuccia, 2010).

Finalmente, el etiquetado debe cumplir los requisitos de la Regulación 2004/1935, la Directiva 79/112/EEC (Marco Directivo de venta de Alimentos) y la Directiva 89/109/EEC (Etiquetado de Aditivos Alimentarios); la Regulación requiere que desde el 19 de Diciembre del 2009, para permitir la identificación de partes no comestibles, y materiales y artículos activos e inteligentes o partes del mismo deben ser etiquetados, cada vez que son percibidos como comestibles: a) con las palabras 'NO COMER'; y b) siempre donde es técnicamente posible, con el símbolo reproducido en el Anexo 1 de la Regulación EC 450/2009/EC (Fig. B3). Esta información debe ser conspicuo, claramente legible e indeleble. Debe ser impreso en caracteres de un tamaño de la fuente en por lo menos 3 mm y cumplir con los requerimientos establecidos en el Artículo 15 de la Regulación 1935/2004/EC. Si las sustancias activas son liberadas por el material o artículo ellos deben ser listados como ingredientes del producto alimentario (Restuccia, 2010).

**Para conocer más acerca de las regulaciones 1935/2004/EC y 450/2009/EC, las pruebas de conformidad y la evaluación de riesgos y cumplimiento revisar el trabajo de investigación de Gontard (2008) y Restuccia (2010).**



Símbolos para partes 'no comestibles'  
en etiquetado de materiales en  
contacto con alimento.

**Fig. B3. Símbolo para partes 'no comestibles' en etiquetado de materiales en contacto con alimento (Restuccia, 2010; Gontard, 2008)**