



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE QUÍMICA

**BIOPOLÍMEROS COMO MATERIALES DE EMPAQUE EN  
ALIMENTOS. ALTERNATIVAS, ESTRUCTURA Y  
APLICACIONES.**

Trabajo monográfico de actualización.

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
QUÍMICO DE ALIMENTOS  
PRESENTA:**

**CÉSAR ADRIÁN HERNÁNDEZ ÁVILA**



México, D.F.

2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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:** Olga Del Carmen Velázquez Madrazo

**VOCAL:** Felipe de Jesús Rodríguez Palacios

**SECRETARIO:** Eduardo Vivaldo Lima

**1er. SUPLENTE:** Jorge Arturo Aburto Anell

**2º SUPLENTE:** Rodolfo Fonseca Larios

**SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:**

Bibliotecas de la UNAM: Facultad de Química, Biblioteca Central, Instituto de Investigación de Materiales, Centro de Investigaciones de Diseño Industrial y recursos electrónicos de la Dirección General de Bibliotecas.

**ASESOR DEL TEMA:** Felipe de Jesús Rodríguez Palacios \_\_\_\_\_

**SUSTENTANTE:** Hernández Ávila César Adrián \_\_\_\_\_

## AGRADECIMIENTOS

---

En primer lugar quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México y de manera más cercana a su Facultad de Química, mi segundo hogar. Espacios donde cada uno de los profesores que me han enseñado, han contribuido de manera muy importante en lo que ahora soy, enseñándome algo más que ciencia y dando no sólo parte de su conocimiento sino también su esfuerzo físico a través del programa donde profesores de la Facultad aportan parte de su sueldo y se materializa en una beca especial, de la cual yo he sido beneficiado.

Gracias a cada uno de los miembros de mi jurado. A mi tutor el QFB. Felipe Rodríguez Palacios, quien ha tenido que sacrificar mucho de su escaso tiempo; soportando mi perseverancia desde el salón de clases hasta su oficina misma, entre juntas importantes y sus viajes a cualquier parte del mundo. Gracias, Felipe, me has enseñado a tener una visión más completa, además a ser cada día más independiente.

Muchas gracias a la Maestra Olga Velázquez Madrazo y al Dr. Eduardo Vivaldo Lima; quienes se adaptaron a los tiempos y a la forma de este trabajo para poder sacarlo adelante posponiendo sus deberes y poniendo interés en mi objetivo propio para que pueda continuar con mis estudios de posgrado.

A mis profesores: la Maestra Lucía Cornejo y al Maestro Pedro Villanueva, quiero expresarles también mi gratitud. Siempre me motivaron en esta travesía y me aconsejaron.

Para la elaboración de este trabajo hay dos personas muy importantes para mí: mis dos amigos Óscar Márquez Cid y Raúl Camarillo López. Gracias a mi gran amigo Óscar quien incluso me ha tenido que prestar su computadora para la elaboración de este trabajo. Gracias a mi hermanito Raúl quien también me ha ayudado en la búsqueda de información. Ambos amigos me han ayudado dándome su opinión sobre la información en este texto.

Un día perdido en el catálogo de tesis de la facultad descubrí un trabajo en particular que abordaba el tema del Poli (Tereftalato de etilo) (PET) como material de envase en botellas para usarse en bebidas carbonatadas. En aquella ocasión me pareció por demás extravagante el tema, pues en aquel momento y hoy en día este polímero es muy común en envases para este tipo de bebidas. El trabajo que revisaba no tenía para mi nada de innovador; sin embargo, noté algo que lo hacía diferente: era de principios de los 90s del siglo pasado.

Con esta vivencia quiero decir lo siguiente: espero que un día alguien encuentre este trabajo y también tenga la misma impresión que me generó aquella investigación que yo encontré, que la información aquí vertida se encuentre rebasada; seguramente no por la forma en la que yo la he reunido y presentado; sino porque sea para ese entonces algo de uso corriente en esa vida futura o bien que la ciencia y la tecnología

hayan dado una alternativa sustentable y se maneje un envase más amigable con el medio ambiente que facilite a solucionar la desigualdad de acceso a los alimentos en este mundo. Comprendo la magnitud de lo que expreso y quiero agradecer a esa gente que contribuirá a hacer este mundo mejor.

“POR MI RAZA, HABLARÁ EL ESPÍRITU”

# DEDICATORIAS

---

---

A Papá Dios por su infinito amor, por su eterna compañía y por hacerme sentir siempre el ser más especial de este mundo.

A mi madre. A la muerte de papá, tuviste que salir de casa pues tenías cinco hijos que alimentar y sacar adelante. Esto era una tarea difícil para ti mamá pero no demostraste miedo y me diste comida, un hogar y los medios para acceder a una educación soportándolo todo, trabajando duro en contra del aire, del sol, el viento, la tierra y hasta la enfermedad. Seguramente tú y yo no tengamos la mejor comunicación, pero quiero agradecerte lo entregado y lo enseñado. A ti que diste todo y se te dio nada. Gracias mamá.

A mis hermanas, quienes se convirtieron desde muy jóvenes en mujeres grandes, fueron en buena parte también responsables de quien hoy soy yo. Gracias Ángela, Sonia y sobre todo a mi favorita, Tere. Gracias a todas por mis maravillosos sobrinos y mi sobrina-nieta.

A mi hermano Hugo, quien a pesar de la distancia que vivimos siempre estaría dispuesto a ayudar de alguna forma.

A mi amigos Oscar, Raúl (“R”) y Jocelyn, con quienes he compartido buenos y malos momentos: compañía, confianza, comida, historias, ideas, enojos, esfuerzos, sueños, comprensión, necesidades, lagrimas, dinero, montones de risas y mucho amor.

A mis amigas de primer semestre Tere, Marisol y Socorro, juntos luchamos por permanecer en ese principio que nos costó tanto trabajo.

A los compañeros de escuela, Ángeles Ramos, Sandra Crespo, Guadalupe de la Rosa, Lucía Salas, Diana Abad, Laguna del Carmen, Ivonne Rodríguez, Laura Roldán, Oswaldo de la Cruz, Cuauhtémoc Guillén, Lilia García, Víctor Hugo Zúñiga, Claudia García, Patricia Santana, Edgar López, Miriam Ramírez, Alejandro Granillo, Enedina Negrete, Ana Aparicio, Blanca Karen Torres, Areli Tufiño, Janet Palacios, Miguel Martínez, Raquel Aparicio, Flora Arroyo, Karla Juárez, Carmen Ravelo, Claudia Teuffer, Abigail Vega, Elizabeth Juárez, Elena Martínez, Elena Rojas, Elisa, Talina, Lila, Azucena, Sandra Guzmán... a todos, por su afecto, amistad y por hacer esta etapa de mi vida tan grande.

A los que se me quedaron en la memoria y no por esto dejaron de ser importantes en mi vida.

# ÍNDICE

---

	Página.
• <b>Introducción</b>	1
• <b>Capítulo uno: Envase dentro de la industria de alimentos.</b>	3
1.1 La necesidad del envase en el mundo actual	4
1.1.1 El envase en la conservación de alimentos y su importancia económica.	
1.1.2 Funciones del empaque	
1.1.3 Características de los materiales de envase	
1.1.4 Interacción envase producto	
1.1.5 Alteración de alimentos	
1.1.6 Métodos de conservación de alimentos	
1.2 El envase como problema ambiental	16
1.2.1 Panorama de la situación actual	
1.2.2 Ejemplos de gestión de envases	
• <b>Capítulo dos: El plástico como material de envase en alimentos.</b>	27
2.1 El uso del plástico como material de envase.	28
2.1.1 Razones para usar plástico en envases.	28
Consideraciones económicas	
Consideraciones técnicas	
Consideraciones de diseño	
2.1.2 Métodos de producción de envases	31
2.1.3 Composición de los polímeros	32
Polimerización por adición	
Polimerización por condensación	
2.1.4 Clasificación de los polímeros	33
2.1.5 Características de los plásticos	34
2.1.6 Desventajas de los plásticos	40
2.2 Plásticos usados como material de envase en alimentos	40
2.2.1 Principales plásticos	40
Poliestireno	
Polietileno	
Polipropileno	
Poli (cloruro de vinilo)	
Poli (tereftalato de etilo)	
2.2.2 Otros plásticos	47
Policarbonato	

Etil vinil alcohol	
Poli (cloruro de vinilideno)	
Etil vinil acetato	
Ionomero	
Copolimero acrilonitrilo metacrilato	
2.3 Reciclado de plásticos.	49
• <b>Capitulo tres: Biopolímeros como materiales de envase en alimentos.</b>	53
3.1 Biopolímeros aplicados a alimentos	53
3.1.1 Aplicaciones de los biopolímeros dentro de la industria de alimentos.	54
3.1.2 Aparición de los biopolímeros como material de envase	54
Envases comestibles	
Envases no comestibles	
3.2 Clasificación y definiciones	59
3.2.1 Clasificaciones	59
Clasificación de acuerdo al origen	
Clasificación de acuerdo al mecanismo de degradación	
Clasificación de acuerdo a origen y mecanismo de degradación	
3.2.2 Definiciones	63
Polímeros de fuentes renovables (Biopolímeros)	
Polímeros biodegradables, biodegradabilidad	
Compostabilidad	
Compostabilidad y biometanización.	
3.3 Factores que influyen en el uso de biopolímeros	66
Disminución del petróleo	
Daño ecológico	
Desarrollo sustentable	
Tecnología	
Integración de factores	
• <b>Capitulo 4: Bioenvase. Materiales con mayor aplicación potencial en la industria del envase de alimentos.</b>	71
4.1 Bioenvase	71
4.1.1 Definición	
4.1.2 Integración del envase en la vida actual	71
4.1.3 Características a considerar en el bioenvase	72
4.1.4 Bioenvase. Demandas de calidad	73
4.1.5 Remplazo de los materiales convencionales	74
4.1.6 Materiales con mayor aplicación potencial como bioenvase	75
4.2 Polímeros de ácido láctico (PLA)	77
4.2.1 Generalidades	77
4.2.2 Ácido láctico	78

Síntesis	
Producción industrial	
4.2.3 Ácido poliláctico	83
Producción de PLA	
Propiedades físicas y mecánicas	
Biodegradabilidad	
Aplicaciones del PLA	
Productores de PLA	
Tendencias de investigación	
4.3 Poli (hidroxialcanoatos) (PHA)	93
4.2.1 Generalidades	93
4.2.2 Historia	95
4.2.3 Biosíntesis	97
4.2.4 Separación	100
4.2.5 Propiedades	103
4.2.6 Degradación	105
4.2.7 Aplicaciones	111
4.4 Tendencias actuales en el bioenvase de alimentos	115
4.4.1 Investigaciones relacionadas con biopolímeros y bioenvase	116
• <b>Conclusiones.</b>	122
• <b>Anexo uno: antecedentes históricos y definiciones de envase</b>	127
A.1 El envase en el tiempo	127
A.1.1 Orígenes	127
A.1.2 Evolución	130
A.1.3 Desarrollo del envase moderno	134
A.2 Definiciones y clasificaciones	129
A.2.1 Envase	137
A.2.2 Clasificación de envase y definiciones	139
Envase: Primario, secundario, terciario (función)	
Rígido, semirígido, flexible (Constitución)	
Ambiental (Otros)	
• <b>Anexo dos: El plástico en el tiempo.</b>	143
• <b>Bibliografía</b>	148

# INTRODUCCIÓN

---

El envase ha representado un elemento en la supervivencia y evolución del hombre, es una consecuencia de una necesidad primaria del ser humano –la alimentación-, sin lugar a dudas el mundo como actualmente se concibe no sería posible sin los envases en nuestra vida.

No se contaría con la diversidad de alimentos sin la ciencia y tecnología de alimentos, sobre todo en la conservación de los mismos. No obstante uno de los elementos de mayor importancia en la conservación es el envase, ya que nos permite mantenerlo en condiciones adecuadas, disminuye mermas, entre otras funciones.

Diversos materiales se han empleado en la industria del envase; sin embargo en los últimos tiempos los polímeros sintéticos (plásticos) han tenido un auge importante debido a que reúnen ciertas características que les confieren ventajas sobre otros materiales. Los plásticos pueden ser tan resistentes como el metal o el vidrio sin ser tan pesados o frágiles como el último, pueden diseñarse de tal forma que presenten las características de barrera deseadas y, algo importante: son baratos y fáciles de producirse.

Los problemas ambientales en todo el orbe son un problema serio, los sistemas de gestión de residuos no son eficaces en totalidad, resultan caros y no existe una voluntad generalizada en los diferentes niveles de la sociedad para una eficaz solución. La contribución a los residuos sólidos por parte de los plásticos dificulta el problema dado que tardan mucho tiempo en reintegrarse al medio, las tecnologías de reciclado aún no son lo suficientemente adecuadas.

Los polímeros de fuentes renovables (Biopolímeros) han atraído considerablemente la atención sobre todo en las últimas dos décadas, principalmente debido a dos razones:

primero por la preocupación respecto al medio ambiente y segundo por los niveles finitos del petróleo.

La solubilidad acuosa permite que la degradación sea más rápida; sin embargo la sensibilidad a la humedad limita las aplicaciones. Otra limitación de varios polímeros naturales su sensibilidad a las altas temperaturas, ya que limita su uso en proceso. Las limitantes representan un área de oportunidades para la investigación de materiales y aplicación de estos materiales, dado que ya existen ejemplos de biopolímeros con muy prometedoras aplicaciones.

El estudio y utilización de los polímeros naturales es un área de interés en ascenso. Las nuevas áreas de investigación traen consigo oportunidades para el desarrollo de materiales y aplicaciones. La inherente biodegradación de los biopolímeros puede permitir un control ambiental a partir de los polímeros empleados.

Los polímeros con mayor potencial aplicación son el ácido poliláctico y el Polihidroxibutirato. El poliláctico (PLA) es obtenido a partir de la polimerización del ácido láctico, que a su vez puede ser obtenido a partir de la fermentación de carbohidratos, estos pueden ser subproductos de origen agrícola. El PLA es un poliéster con un alto potencial con aplicaciones en el terreno del envase, las diferentes mezclas de sus isómeros permiten obtener materiales con diferentes características.

Por otra parte los polihidroxialcanoatos, donde el más común es el polihidroxibutirato (PHB), es un poliéster que es acumulado por un gran número de bacterias como reserva de energía y carbón. La biodegradación y compostabilidad del material le hacen tener aplicaciones en la industria. Una propiedad interesante es la baja permeabilidad al vapor de agua comparable al del polietileno de baja densidad. Resulta un material caro dado su origen biotecnológico, la investigación de este material se centra en sustratos más baratos y cepas bacterianas más eficaces.

# CAPÍTULO UNO

## ANTECEDENTES DEL ENVASE

*“un envase debe de ahorrar  
más de lo que cuesta”*

Dr. Rubén Rausing, fundador de Tetra pack

---

La sobrevivencia del hombre ha contado con una notable ventaja; al estar dotado de inteligencia ésta le permite tener una percepción distinta del medio que le rodea. El uso de esta razón sitúa al hombre primitivo en situación muy especial, en una línea de tiempo. Al tener conciencia de su entorno, ésta lo hace finito; ocasionando que el hombre cuestione su destino final, lo que le ocurre cada día, motivando que proveerse de alimento para él sea algo más que una necesidad fisiológica, como ocurre en los animales, si no una preocupación conciente.

El envase ha sido una herramienta con que ha contado el hombre para su supervivencia. Es importante entender cómo el hombre ha evolucionado y desarrollado los elementos a su alcance para adaptar esta herramienta que le permite obtener una alimentación de mayor calidad y con esto, poder sobrevivir.

En la sociedad actual, el envase es percibido como esencial. El sector representa cerca del 2% del Producto interno bruto (PIB) en los países desarrollados y alrededor de la mitad de todos los envases empleados es usada en la industria de alimentos (Robertson, 2006):

Hemos creado una breve reseña histórica (Anexo 1); con la que esperamos crear una visión general para el lector, sobre cómo el hombre desde sus orígenes ha evolucionado el envase y de cómo este le ha permitido alcanzar el nivel de vida que actualmente tiene.

## ***1.1 LA NECESIDAD DEL ENVASE EN EL MUNDO ACTUAL***

---

### ***1.1.1 El envase en la conservación de alimentos y su importancia económica (Sielaf, 2000; Heiss 1977).***

---

En un principio, el esfuerzo desarrollado en el envasado para la distribución de los productos puramente agrícolas es, en todos los países mínimo: se realiza en hojas, sacos de azúcar reutilizados, papel de envolver elaborado a partir de sacos de cemento o bien en papel periódico. En esta fase no es de esperar un desarrollo adecuado de la industria del envasado, por lo que a su volumen de producción o a calidad se refiere.

Si consideramos que entre un 80 y 90 % de la población de países en vías de desarrollo se ocupa en actividades relacionadas con la producción de alimentos; cabría esperar que fueran estos países los principales consumidores de envases.

Cuando no existe una regulación adecuada de la producción agrícola, una conservación y elaboración progresiva de alimentos; el aumento de la producción agrícola, da lugar al incremento de un producto en el mercado con el correspondiente descenso de su precio y con el posible descenso en los ingresos que le siguen. Tan pronto como se ponen en práctica regulaciones económicas; las fluctuaciones en el precio se reducen notablemente. El establecimiento de estas regulaciones resulta por tanto el medio esencial para mejorar las condiciones del mercado, en especial, con vistas a la prevención del hambre en los meses anteriores a las cosechas.

En la mayor parte de los países en vías de desarrollo se suele comprar únicamente el abasto diario, por lo que el envase juega solamente un papel secundario. Sin embargo, el envasado es importante para el almacenamiento de alimentos entre cosechas; para hacer posible la elaboración industrial de alimentos de calidad nutritiva superior o más estables; para el abastecimiento de países lejanos, y de una forma muy general, para la distribución y exportación de los productos agrícolas. La importancia del envasado en la economía de un país depende, pues, del estatus de la industria alimentaria, de la

existencia de medidas regulatorias en su economía y del volumen de sus exportaciones (Heiss, 1977).

La dependencia de productos frescos trae consigo la variación drástica de los precios en el mercado, pues se depende de la oferta. La manipulación en el mercado de alimentos frescos provoca considerables mermas de producto de temporada y genera escasez cuando no está disponible, ocasionando un alza en los precios. El exceso de producción puede entonces ser aprovechado procesando estos alimentos y de esta forma tenerlos disponibles todo el año (Heiss, 1977). Este factor ha sido un potencial presente en nuestro país dadas las condiciones de diversidad; sin embargo, no ha sido aprovechado en su totalidad.

En la actualidad encontramos en los supermercados una infinidad de productos alimenticios provenientes de diversas partes del mundo, este hecho contrasta con la escasez de productos nacionales en ciertas temporadas del año y nos habla claramente del atraso en conservación y envasado de alimentos. El abasto de alimentos es marcadamente diferente en nuestro país, en las ciudades hay una mejor disponibilidad de alimentos, hecho que contrasta con el resto del país.

La conservación, el transporte y la demanda simultánea de una dosificación de los alimentos presuponen casi sin excepción el envasado de los productos correspondientes. Dado que la conservación sólo puede alcanzarse mediante temperaturas elevadas u otros medios. Si consideramos que además del transporte, es preciso un largo depósito de los productos; entonces, se hace necesario envolver y cerrar bien los alimentos de manera que queden protegidos frente al medio circundante. Actualmente es posible influir en este proceso mediante la elección de materiales de envasado, específicos y adecuados; preparando u obteniendo como producción propia medios para envasar aprovechables en la industria, y creando una técnica de envasado en cadena. A la vez, puede influirse de forma marcada sobre la calidad y las aplicaciones de los artículos, así como sobre la economía de la producción (Sielaf, 2000).

El proceso de envasado presupone además de la disposición del producto a envasar (alimento), la existencia de medios principales y secundarios para el envasado. Los medios para envasar son recipientes: latas, frascos y bolsas, entre otros, que acogen el producto; se completan con medios auxiliares de envasado como tapas, cierres y etiquetas. El conjunto de estos medios fabricados con materiales diversos (vidrio, metal y plástico, entre otros) recibe el nombre de envase, el cual, junto con el producto envasado, constituye la unidad comercial (Sielaf, 2000).

### *1.1.2 Funciones del empaque (Rodríguez, 2007; Vidales, 2003).*

Los envases son objetos destinados a brindar servicios específicos como son contener, proteger y transportar un producto, por tanto, su función dependerá de la manera en que habrán de satisfacer las distintas necesidades para las que han sido creados. Vidales (2003) menciona cuatro principales funciones del envase que mencionamos a continuación:

#### **Contener:**

- Delimita y separa el producto del medio ambiente.
- Reduce al producto a un espacio determinado y a un volumen específico.
- Los productos en cualquier estado de la materia a granel pueden ser manipulados y cualificados sin ser tocados en forma directa.

Por ello, como primer paso para elaborar el diseño de un envase o empaque se tiene que considerar la naturaleza del producto y la clase de necesidades de envasado que se requieren para contenerlo.

#### **Proteger:**

- El envase aísla al producto de los factores (químicos, ambientales y de transportación, entre otros) que pudieran alterar su estado natural y su composición, así como su calidad.

- La protección no sólo es aplicable al producto. El envase protege incluso al consumidor y al medio ambiente contra el propio producto, como es el caso de los productos radioactivos, corrosivos, tóxicos o de ingestión peligrosa.

La protección se divide principalmente en dos tipos:

1. Contra los riesgos físicos y mecánicos durante el transporte del producto.
2. Contra las influencias del medio ambiente: lluvia, vapor de agua, gases, olores, etcétera.

El envase se dirige principalmente a la protección individual. El embalaje en cambio, se dirige a la protección física colectiva.

### **Conservar:**

Está orientada a detener o inhibir los cambios químicos o biológicos que pudiera sufrir un producto.

La buena conservación de un producto permite que éste pueda permanecer en el anaquel o almacén por largo tiempo sin sufrir alteraciones en su composición química o en su estructura física, gracias a la barrera que el envase establece entre el producto mismo y los agentes externos a él. La conservación es vital para muchos productos de uso delicado como son los alimentos y los medicamentos en los que cualquier alteración en sus compuestos puede implicar un grave riesgo para la salud. Al igual que la función de proteger, la función de conservar necesita ser definida y cualificada de acuerdo a las características del producto que contendrá y a la condiciones de transporte y distribución que se emplearán para el producto.

### **Transportar:**

Cualquiera que sea el estado de la materia y características físicas del producto, este puede ser transportado fácilmente mediante el envase.

La función de transportar enfatiza el movimiento de los bienes desde que han sido producidos hasta su consumo final. Esto involucra varios medios de transporte, técnicas

manuales, así como condiciones de almacenamiento; se suman a ello los riesgos físicos de distribución a los que se puedan enfrentar los productos. En la actualidad existen diversas reglamentaciones legales que funcionan tanto a nivel mundial como en términos de cada país e incluso de cada región, que han permitido una transportación segura y exitosa. Cabe señalar que dichos términos legales han influido en gran medida en los diseños de los envases.

### **Comunicación:**

En los envases se traduce en ser vistosos, descifrados, integrados, memorizados y sobre todo, deseados. El papel de la comunicación del envase es quizá el más complejo dentro de todas las funciones que debe cumplir debido a la gran diversidad de niveles que debe de atender. En el envase ciertos mensajes son requeridos por ley o por costumbre y que, dentro de la variabilidad implementada por la creatividad del diseñador, siempre deben estar presentes de manera visible para el consumidor (Vidales, 2003).

Estas funciones dan muestra clara de lo indispensable que para el ser humano es el alimento; y los envases que lo contienen o lo protegen los cuales han tomado un papel muy importante, tanto en una era de escasez de los mismos como cuando abundan ya que un buen empaque logra que un alimento llegue a manos del consumidor final en condiciones de ser ingeridos, a pesar del tiempo y el medio ambiente.

El reto compartido de los ingenieros en empaque con los tecnólogos en alimentos es prolongar el mayor tiempo posible la vida útil de los alimentos con la más alta calidad y al menor costo.

Actualmente, a nivel mundial se desperdicia alrededor del 25 al 30% de los alimentos producidos debido a diversas razones entre las que se pueden mencionar el maltrato y el mal manejo de alimentos frescos durante su transporte y comercialización; así como merma durante su producción o bien como desperdicio de los hogares. Si un empaque es diseñado adecuadamente puede ayudar significativamente a reducir esta cifra.

Tabla 1.1: Funciones de envase.

FUNCIONES	CONSIDERACIONES
Protección	<ul style="list-style-type: none"> <li>-A prueba de gas</li> <li>-Impermeabilidad</li> <li>-A prueba de humedad</li> <li>-Protección contra los rayos de sol y UV</li> <li>-Protección contra agentes atmosféricos</li> <li>-Conservación del aroma, entre otros.</li> </ul>
Estabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Protección contra agentes químicos</li> <li>-Protección contra el calor</li> <li>-Contra la congelación</li> <li>-Contra altas temperaturas (retorta)</li> <li>-Contra agua</li> <li>-Climatización</li> <li>-Contra el frío</li> <li>-Contra la radiación</li> <li>-Contra gases</li> <li>-Contra aceites, entre otros.</li> </ul>
Resistencia Física	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Resistencia a la tracción, al estiramiento, al desgarre, a la flexión, al corte, al rozamiento, a la compresión, la punción y a golpes.</li> <li>-Suavidad</li> </ul>
Maquinabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Hermeticidad</li> <li>-A prueba de contracción térmica</li> <li>-Obtención de sustancias heterogéneas</li> <li>-A prueba de rizado</li> <li>-Protección contra las estática, entre otros.</li> <li>-Dotado de elasticidad</li> <li>-Estabilidad dimensional</li> <li>-Aptitud de para adhesivos</li> <li>-Deslizamiento</li> </ul>
Comodidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Portabilidad</li> <li>-Unidad de distribución</li> <li>-Modulable</li> <li>-Fácil de abrir y cerrar</li> <li>-Apto para impresión</li> <li>-Posibilidad de reutilizar, entre otros.</li> </ul>
Factor económico	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Precio unitario</li> <li>-Carga y descarga: transporte</li> <li>-Normalización</li> <li>-Sistematización</li> <li>-Racionalidad del empaque</li> <li>-Productividad</li> <li>-Almacenamiento</li> <li>-Empaque adecuado, entre otros.</li> </ul>
Higiene	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Protección contra la entrada de productos extraños</li> <li>-Contra olores desagradables</li> <li>-Control de reglamentación</li> <li>-Protección contra la falsificación</li> <li>-Protección contra microorganismos</li> <li>-A prueba de cambios de color, entre otros.</li> <li>-Seguridad</li> <li>-Contra la descomposición</li> </ul>
Comercialidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aptos para rotulación</li> <li>-Transparencia</li> <li>-Efecto de coloración</li> <li>-Forma de estructura</li> <li>-Fácil de diferenciar</li> <li>-Grado de suavidad</li> <li>-Lustre</li> <li>-Grado de blancura</li> <li>-Moda</li> <li>-Que sea agradable, entre otros.</li> </ul>
Aspecto social	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Apto para el proceso residual (combustión, reciclaje)</li> <li>-Suministro estable de recursos</li> <li>-Reducción de recursos de energía</li> <li>-Control de reglamentación, entre otros.</li> </ul>

Fuente: Rodríguez, 2007.

El primer contacto de un producto con el consumidor, es el empaque. En los supermercados los miles de productos exhibidos captan la mirada del consumidor en un

promedio de sólo dos segundos o menos; de ahí que un buen envase pueda vender, informar y promocionar los productos.

Los empaques han tenido un desarrollo acorde a la evolución de nuestro mundo, los productos deben viajar grandes distancias en condiciones climáticas en ocasiones severas y sufrir un cierto manejo, pero al final el producto debe lucir fresco, atractivo y en condiciones de ser vendido.

Detrás de cada envase y embalaje existe todo un desarrollo tecnológico y científico que nos permite disfrutar de los productos. El personal que trabaja en esta rama de la ingeniería se apoya en diferentes ciencias y disciplinas como son: la ingeniería industrial; ingeniería mecánica; ingeniería química; la informática; la física; las matemáticas y la economía, así como otras técnicas y conocimientos de mercadotecnia; artes gráficas y aspectos legales, sobre todo de la tecnología de alimentos existente (Rodríguez, 2007).

Tomando criterios diferentes Rodríguez (2007) hace una clasificación ampliada y detallada de las funciones del envase, la cual es presentada en la tabla 1.1.

### *1.1.3 Características de los materiales de envase (Rodríguez, 2007)*

Los envases deben diseñarse pensando en la protección mecánica del producto, así como en protección que evite las alteraciones descritas, pudiendo resumir que las características que debe tener un envase son las siguientes:

- Grado alimenticio
- Características mecánicas adecuadas
- Permeabilidad al vapor de agua
- Permeabilidad a los gases (N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, entre otros)
- Permeabilidad a los aromas
- Permeabilidad al agua y a las grasas
- Protección a la luz

### **Los diferentes materiales de envase.**

Generalmente los alimentos han sido envasados en materiales como: vidrio, lata, cartón, bolsas o sobres de papel, y cada vez más, en envases plásticos rígidos o películas plásticas. De estos, el vidrio ha tenido un uso muy amplio debido a la gran barrera de protección a los alimentos que éste ofrece; sin embargo, materiales como el aluminio laminado, proporciona una excelente barrera a muchos factores que degradan los alimentos.

En los últimos años la tendencia a utilizar polímeros se ha incrementado debido a los avances en su desarrollo, logrando materiales con una gran capacidad de barrera al oxígeno, y en general a los gases, con la ventaja de un costo más reducido.

### **Características de los envases a emplearse en alimentos.**

Cuando se requiere envasar un alimento, el diseño del envase debe realizarse tomando en cuenta los requerimientos del producto a envasar; es decir, no existe el envase ideal que pueda contener cualquier producto. La selección de un envase depende de varios factores como: costo, necesidades técnicas de operación en equipos de envasado, transporte, vida de anaquel, apariencia y, primordialmente, que el envase proteja efectivamente el producto. En cuanto a protección del producto, es donde el tipo de envase cambia de acuerdo al producto a envasar, ya que cada producto tiene necesidades específicas y diferentes.

Algo que resulta una tarea inicial en cualquier desarrollo de envases y embalajes es el mayor conocimiento del producto, ¿cómo es su metabolismo o comportamiento con el tiempo?, ¿Qué le afecta y de qué forma?, ¿Cómo se produce?, ¿Cómo se transporta?, ¿Cómo se distribuye?, ¿Cómo se almacena?, ¿Cómo se comercializa?, ¿Cuánto tiempo se mantiene en el hogar sin consumir?, ¿Cómo se consume?, ¿Qué hábitos de reuso tiene el consumidor?, etcétera. Todos estos aspectos respecto al producto son indispensables para el desarrollo del envase, sólo así se está preparado para buscar y elegir el envase o embalaje adecuado, y aunque pueda parecer un trabajo tedioso; en realidad siempre resulta lo más atractivo, ya que permite conocer una buena gama de productos y procesos.

Debe recalcar aquí que las exigencias más estrictas respecto a la permeabilidad al agua, al oxígeno y los olores, únicamente se pueden obtener con la utilización de envases metálicos o recipientes de vidrio herméticamente cerrados y envases de materiales combinados a base de aluminio, como principal componente, cerrados térmicamente.

La adecuada resistencia en estado húmedo se consigue con la mayor parte de las películas plásticas y también, en menor grado, con papeles impregnados con recubrimientos de cera o acabados especiales. La ausencia de fugas se asegura con la utilización de envases de vidrio o metálicos y también de envases plásticos de suficiente grosor, a excepción de los de películas de celulosa regenerada. La ausencia de fugas exige que el envase sea absolutamente hermético, por lo tanto, es preciso cuidar que el cierre sea tan hermético como el propio material del envase. La resistencia a las grasas es una importante propiedad de las películas plásticas.

Con el papel de aluminio libre de poros, la película de celulosa regenerada, el papel vegetal de suficiente grosor y el papel resistente a las grasas de elevada calidad, se consigue una impermeabilidad bastante satisfactoria. La impermeabilidad al oxígeno de todas las películas plásticas es únicamente relativa; siendo los polímeros de tereftalato de polietileno (PET), cloruro de polivinilideno (PVDC) y etil vinil alcohol (EVOH) los de mayor impermeabilidad. El grado de impermeabilidad requiere del tiempo y temperatura de almacenamiento (Rodríguez, 2007)

#### *1.4 Interacción envase producto (Rodríguez, 2007; Vidales, 2003).*

Cuando se diseña un envase debe considerarse su capacidad de protección de acuerdo a las características del producto empacado, siendo las alteraciones más comunes las siguientes:

*Reacciones oxidativas.* El oxígeno ocasiona en los alimentos daños muy grandes dado que reaccionan con la mayoría de los nutrientes, siendo su acción marcada en el

deterioro de los aceites, grasas y vitaminas. El oxígeno también favorece el desarrollo de microorganismos.

*Pérdida o ganancia de humedad.* En el caso de productos frescos con alto contenido de humedad, la pérdida de agua genera cambios desagradables en los alimentos como disminución del aroma, cambios de color, textura y deterioro del aspecto general.

Por el contrario en productos secos o con bajo contenido de agua, éstos tienden a absorber la humedad del ambiente ocasionando modificaciones en su estructura física y, en otros casos, favoreciendo el desarrollo de microorganismos.

*Pérdida o absorción de compuestos volátiles.* Cuando un alimento pierde o disminuye su aroma original se considera que el producto ha perdido calidad. Generalmente en los alimentos se presentan pérdidas de compuestos volátiles como: aceites esenciales, ácidos, aldehídos, ésteres, alcoholes, o bien, sustancias de relativo bajo peso molecular que se liberan del alimento, independientemente o junto, con el vapor de agua en pequeñas concentraciones.

Por otra parte, algunos productos pueden absorber aromas; siendo esta alteración una de las más comunes cuando se almacenan o transportan diferentes productos en un mismo lugar. En general, los alimentos ricos en grasas y aceites presentan una marcada tendencia a la absorción de aromas extraños.

*Contaminación por microorganismos.* Las alteraciones que ocasionan los microorganismos son una de las principales causas del deterioro de los alimentos por lo que los envases deben diseñarse de tal forma que inhiban el crecimiento de los mismos.

*Acción de la luz.* La luz ejerce cambios sobre los alimentos ya que acelera gran parte de sus cambios químicos. Al respecto, se ha encontrado que el efecto degradante de la luz sobre los alimentos es inversamente proporcional a la longitud de la radiación, por lo

que los rayos ultravioleta degradan más a los alimentos que los rayos del espectro visible.

En resumen, el tipo de interacciones entre el envase y el producto pueden ser clasificadas en tres tipos: permeación, absorción y migración.

*Permeación.* Son aquellas interacciones donde el envase permite el paso de elementos del medio ambiente al producto y del producto al medio ambiente a través de él.

*Absorción.* Interacciones donde el producto altera o ataca al envase.

*Migración.* Interacciones en las cuales algunos elementos pasan al producto, siendo estos elementos diferentes dependiendo del tipo de material de envase utilizado (Rodríguez, 2007; Vidales, 2003).

### 1.5 Alteración de alimentos (Rodríguez, 2007; Vidales, 2003).

Los alimentos pueden sufrir dos clases de alteraciones: biológicas y abióticas.

*Alteraciones biológicas.* Estas modificaciones son ocasionadas por los procesos metabólicos de los alimentos mediante la acción de sus enzimas naturales o por la acción de los microorganismos, incluyendo las alteraciones provocadas por cualquier organismo vivo como: parásitos, roedores e insectos, entre otros. Estas tipo de alteraciones puede ser dividida en internas y externas.

Las internas se refieren a las funciones biológicas que continúan, incluso cuando los alimentos han sido cosechados. Las externas se refieren generalmente a la acción de microorganismos.

*Alteraciones abióticas.* Son aquellas alteraciones las cuales cambian las características físicas del producto como son: la hidratación, desecación y cristalización; o cambios de tipo químico como las reacciones de oxidación, hidrólisis y polimerización. Este tipo de

cambios son indeseables ya que generalmente modifican las características sensoriales del producto disminuyendo su valor nutritivo y algunas veces generando sustancias tóxicas (Rodríguez, 2007; Vidales, 2003).

### 1.6 Métodos de conservación de alimentos (Rodríguez, 2007).

Actualmente se encuentra con diferentes métodos de conservación de alimentos, en los cuales se eliminan las alteraciones antes mencionadas.

#### *Métodos Físicos.*

- Aplicación de calor: escaldado, pasteurización, ultrapasteurización y esterilización.
- Aplicación de frío: refrigeración o congelación.
- Eliminación de agua: deshidratación y liofilización.
- Aislamiento, extracción y aplicación de radiaciones.
- Aplicación de radiaciones ionizantes.

*Métodos Químicos.* Acidificación, salado, ahumado y utilización de compuestos químicos como preservativos.

*Métodos Biológicos.* Empleo de microorganismos específicos para lograr fermentaciones particulares (ácida y alcohólica, entre otros.)

Una vez que los alimentos han sido sometidos a estos métodos de conservación requieren ser aislados de los factores adversos del medio ambiente, con el fin de evitar futuras alteraciones. Este aislamiento lo proporcionará sin duda un envase necesario para el producto a envasar (Rodríguez, 2007).

## ***1.2 EL ENVASE COMO PROBLEMA AMBIENTAL***

---

### ***1.2.1 Panorama de la situación actual***

---

Los residuos sólidos se dividen en:

- Residuos industriales.
- Residuos sólidos municipales (RSM).
- Residuos especiales.
- Residuos peligrosos.
- Residuos de la minería.
- Residuos de la agricultura.
- Residuos de la pesca.

Los residuos sólidos municipales (RSM), son los que se producen de los materiales que se utilizan en la realización de envases (Vidales, 2003).

Los RSM, conocidos comúnmente como basura, están compuestos por residuos orgánicos (producto de la comercialización, el transporte, la elaboración de alimentos y excedentes de comida, y restos de materia vegetal), papel, cartón, madera y en general materiales biodegradables e inorgánicos como: vidrio, plástico, metal y material inerte. Los RSM provienen de las actividades que se desarrollan en el ámbito doméstico; sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios; así como de residuos industriales que no deriven de sus procesos (SGPA/SEMARNAT, 2001).

La nueva Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, publicada en octubre del año 2003, hace una actualización de las definiciones de los residuos. De estas actualizaciones la de mayor importancia para nosotros es la de los RSM, ahora denominados Residuos Sólidos Urbanos; sin embargo, presentamos dos definiciones más para entender claramente los residuos a los que se hace referencia.

*Residuos peligrosos:* Son aquellos que poseen alguna de las características CRETIB (corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o agentes biológico-infecciosos) que les confieran peligrosidad; así como, envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados al ser transferidos a otro sitio.

*Residuos sólidos urbanos:* Son aquellos generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas, de los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole.

*Residuos de manejo especial:* Son aquellos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos (DOF, 2003).

Esta adecuación obliga a la revisión de las estadísticas con que se cuenta y que se presentan en los indicadores oficiales; sin embargo, a la fecha las estadísticas y programas los siguen contemplando como Residuos Sólidos Municipales y no como Residuos Sólidos Urbanos (SNIARN/SEMARNAT, 2007).

El efecto ambiental más evidente del manejo inadecuado de los RSM, lo constituye el deterioro estético de las ciudades así como del paisaje natural, tanto urbano como rural, con la consecuente devaluación tanto de los predios donde se localizan los tiraderos como de las áreas vecinas por el abandono y acumulación de basura, siendo uno de los efectos fácilmente observados por la población. Sin embargo, uno de los efectos ambientales más serios es la contaminación del suelo y cuerpos de agua, ocasionada por el vertimiento directo de los RSM, así como por la infiltración en el suelo del lixiviado (producto de la descomposición de la fracción orgánica contenida en los residuos y mezclada muchas veces con otros residuos de origen químico).

México, al igual que muchos países del mundo enfrentan grandes retos en la gestión integral de RSM debido, por un lado, al elevado índice de crecimiento demográfico e industrial del país (acompañado de la tendencia a abandonar las zonas rurales y concentrarse en centros urbanos) y, por el otro, la imagen creada de productos

suntuarios que influyen en las costumbres de la población induciendo al consumo de artículos desechables sin promover su manejo adecuado (SGPA/SEMARNAT, 2001).

En el país, la generación de RSM en 2004, correspondía a 34.6 millones de toneladas, lo que representa una generación per cápita de 0.90 kg/hab/día, el crecimiento en residuos para el país ha sido constante en los últimos años como se puede observar en la tabla 1.2.

Tabla 1.2: Generación total de Residuos Sólidos Municipales, 1994-2004

Concepto	Año										
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Generación anual <sup>1</sup>	29,472	30,510	31,959	29,272	30,551	30,952	30,733	31,488	32,174	32,916	34,602
Población total <sup>2</sup>	92.04	93.60	95.10	96.54	97.92	99.27	100.60	101.83	103.40	104.21	105.35
Generación per capita <sup>3</sup>	0.85	0.89	0.92	0.83	0.85	0.85	0.84	0.85	0.86	0.87	0.90

<sup>1</sup>Miles de toneladas

<sup>2</sup>Población total en millones de habitantes

<sup>3</sup>Generación en kilogramos por habitante por día.

Fuente: Modificado de SNIARN/SEMARNAT, 2007.

Los RSM se producen mayormente en la región Centro (50%), siguiéndole la región Norte (18%) y el Distrito Federal (13%). Durante el periodo 1997-2004, la zona Centro, la Frontera Norte y la zona Sur incrementaron de manera significativa la generación de residuos; 24, 35 y 17%, respectivamente, destacando la zona Centro que alcanzó una generación de 17 millones de toneladas de RSM en 2004.

Además del incremento en la cantidad total de residuos generados en el país, la generación per cápita anual nacional también ha aumentado, de 1997 a 2004, se incrementó en un promedio de cuatro kilogramos al año, alcanzando la cifra de 328 kilogramos por habitante. Esta generación muestra diferencias importantes entre los diferentes estados. Los habitantes de estados muy urbanizados como el Distrito Federal, Nuevo León, Estado de México y Baja California generaron en el año 2004, más de un kilo de residuos diarios por persona; en contraste con lo que generaron en promedio los habitantes de estados menos urbanizados como Oaxaca, Chiapas, Hidalgo, Zacatecas y Tlaxcala, cuya generación no rebasó los 700 gramos diarios.

Lo que explica que la composición de los residuos sólidos municipales (tabla 1.3) depende de los niveles y patrones de consumo, así como de las prácticas de manejo y la minimización de residuos. En general, existe una correlación entre la composición de RSM generados y las condiciones económicas de los países; aquellos con menores ingresos generan menos residuos y sus componentes son menos reciclables (SNIAR/SEMARNAT, 2007).

En México, poco más de la mitad de los residuos son de naturaleza orgánica (residuos de comida, jardines y materiales orgánicos similares), correspondiendo el 49% restante a residuos inorgánicos como: papel y cartón (15%), vidrio (6%), plástico (6%), textil (2%), metal (3%) y otros tipos de basura (17%). De 1995 al año 2004 no se observaron en México cambios importantes en la proporción de residuos orgánicos e inorgánicos

Tabla 1.3: Generación de Residuos Sólidos Municipales por composición, 1995-2004.  
Miles de toneladas.

Material	Año										
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	TOTAL
Orgánicos <sup>1</sup>	15,987	16,747	15,339	16,008	16,219	16,104	16,500	16,859	16,593	17,441	16,380
R. finos <sup>2</sup>	5,754	6,028	5,521	5,762	5,838	5,796	5,939	6,068	5,704	5,996	5,840
Papel <sup>3</sup>	4,293	4,497	4,119	4,298	4,355	4,324	4,430	4,527	4,905	5,160	4,491
Vidrio	1,800	1,886	1,727	1,802	1,826	1,813	1,858	1,898	2,156	2,210	1,898
Plástico	1,336	1,400	1,282	1,338	1,356	1,346	1,379	1,409	2,014	2,116	1,498
Metal	885	927	849	886	898	891	913	933	1,047	1,160	939
Textil	455	476	436	455	461	458	469	479	497	520	471
TOTAL	30,510	31,959	29,272	30,550	30,952	30,733	31,489	32,174	32,916	34,603	31,431

<sup>1</sup> Orgánica de comida, jardines y otros materiales similares.

<sup>2</sup> Residuos finos, pañales desechables, etc.

<sup>3</sup> Papel, cartón y otros productos de papel

Fuente: Modificado de SNIARN/SEMARNAT, 2007.

El manejo de los residuos sólidos municipales (RSM), comprende desde su generación, almacenamiento, transporte y tratamiento hasta su disposición en algún sitio. Aún no se han incorporado en todo el territorio nacional, técnicas modernas para la solución de este problema por lo que es relativamente frecuente que los residuos se viertan sobre depresiones naturales del terreno.

Un aspecto importante del manejo es la recolección de los RSM. En 1998 se recolectaba cerca del 85% del total generado y en 2004 esta cifra ascendió a 87%. Actualmente, la mejor solución para la disposición final de los RSM son los rellenos sanitarios. Hasta el 2001 pocas ciudades contaban con este tipo de instalaciones

operando en condiciones sanitarias adecuadas; sin embargo, para el año 2004, sólo el estado de Oaxaca no reportaba la existencia de rellenos sanitarios.

México ha logrado un enorme avance, ya que de 1995 a 2004 el número de rellenos sanitarios se triplicó y la cantidad de RSM que se depositaron en ellos aumentó de 5.9 a 18.3 millones de toneladas (52% de los RSM generados en 2004). El resto aún se deposita en rellenos de tierra controlados (11.5%) y no controlados (32.9%). Los mayores avances se han dado en las ciudades: en 2004, el 61% de los residuos depositados en rellenos sanitarios y de tierra controlados se ubicó en zonas metropolitanas y 37% en ciudades medias (SNIAR/SEMARNAT, 2007).

### *1.2.2 Ejemplos de sistemas de gestión de envases (Pardavé, 2004).*

La sociedad actual no es concebible sin la existencia de envases, sin ellos, sería imposible realizar la distribución de la mayoría de los productos que consumimos y mucho menos garantizarlos en condiciones adecuadas de salubridad, calidad y otras garantías.

La protección del medio ambiente está relacionada con la protección de la salud humana, el exceso de envases es uno de los principales problemas medioambientales actuales, ante esto reaccionan las políticas ambientales tratando de encontrar sistemas que permitan solucionar el problema. Esto debe pasar por la utilización de procesos industriales limpios, la optimización en el uso de materias primas, energía y la fabricación de productos más ligeros, menos voluminosos y que permitan una distribución eficaz de los alimentos con un máximo ahorro económico.

Respecto al exceso de residuos de envases, las políticas ambientales buscan: la reducción del volumen de residuos, reciclaje y reutilización (conocido como 3R, por las letras iniciales) incineración con recuperación energética y optimización del vertido final (Pardavé, 2004).

Existen distintos sistemas para la gestión de residuos aplicados por diferentes países; todos muy diversos, pero todos buscando el mismo fin, el destino de los residuos, algunos muy interesantes, por los objetivos que persiguen; sin embargo, otros son preocupantes.

Los empaques plásticos desechados por todos los usuarios dentro de la Unión Europea son colectados en cada país a través de empresas que recogen prácticamente todos los tipos de materiales de empaques. Estas empresas son derivadas del Sistema Duales original de Alemania y manejan el sello Punto Verde en 22 países de la Unión.

En 1995 el Duales System Deutschland AG decidió transferir este sello a otras organizaciones europeas y para ello fundó la organización Packaging Recovery Organisation Europe s.p.r.l., Proeurope. Su función es otorgar la marca a los empaques fabricados con todo tipo de materiales, para que su recuperación y reciclaje queden garantizados bajo unas normas y regulaciones que son uniformes en todos los países. Una vez recuperados los desperdicios de los empaques, las empresas del Sistema Duales realizan la separación de los materiales y los entregan en forma separada a otras empresas industriales especializadas en el reciclaje de cada tipo de material, dentro de la Unión Europea. De esta manera se cierra el círculo ecológico de uso, desecho, recuperación y reutilización de los materiales de empaque (IMPEE y Jiménez, 2005).

### **El sistema dual Alemán**

Este sistema aplicado desde 1991. Está basado en el principio de que el proveedor de un bien es responsable de la eliminación de sus residuos y de la reutilización o reciclado de los envases y embalajes que lo contienen.

Sus objetivos se pueden resumir en: reducción de los residuos de envases, reutilización y reciclado.

La DSD es un consorcio que pretende agrupar simultáneamente a los diversos sujetos de la red de distribución y que está abierto a la inclusión de tantos socios como sea

posible. La DSD se encarga de la contratación de empresas de eliminación de residuos, ya sean privados o municipales.

Las empresas contratadas deben:

- Poner a disposición de los usuarios los contenedores necesarios.
- Garantizar la completa recolección, así como su clasificación.
- Garantizar el efectivo reciclado y la reutilización de la materia prima resultante.

### **El punto verde**

El llamado “punto verde” es la clave del DSD, y las empresas pueden solicitar y obtener la autorización del DSD para utilizar el logotipo *punto verde* para sus productos, sean socios o no.

Figura 1.1: Logo del punto verde.



Fuente: IMPEE y Jiménez, 2005.

Funciones del punto verde:

-Facilita la clasificación de los envases, advirtiendo al consumidor para que deposite los envases identificados por el punto verde en los sistemas de recolección de la DSD.

-Financia el funcionamiento de las DSD, a través de unos cánones para el uso del logotipo.

-Sirve de instrumento de mercadeo.

Las tarifas de licencia para poder lucir el “*punto verde*” en los envases se muestran en la siguiente tabla 1.4:

El *punto verde* asegura la recolección del sistema diferenciado, sin cargo adicional para el productor, de lo contrario es el productor quien debe organizar un sistema propio de recolección de sus envases usados.

Tabla 1.4: Tarifas de licencia de punto verde

<b>Tipos de envase</b>	<b>Dólares por Kg por envase</b>
Plásticos	1.92
Laminados	1.06
Aluminio / metales	0.64
Hojalata	0.36
Papel / cartón	0.21
Vidrio	0.10

Fuente: Pardavé, 2004.

### **El sistema *Eco-emballage* Francés**

Este sistema está siendo aplicado desde 1992. Parte de objetivos más modestos que el sistema alemán en las tasas de reciclado, así como en el valor del punto verde.

La principal diferencia es que no duplica el sistema de recolección sino que utiliza la red de residuos municipal.

Según las normas francesas, los ayuntamientos recibirán la colaboración financiera de la industria para desarrollar programas de valoración energética, recolección selectiva y selección de embalajes. El programa ofrece a las empresas industriales y comerciales el servicio; debe hacerse cargo de los envases que ponen en el mercado con el propósito de valorizar una vez que han sido utilizados.

Así, las empresas contribuyen pagando por marcar sus envases con el punto verde y los consumidores compran los productos que llevan dicho punto para que una vez consumido, clasificar sus residuos de envases domésticos que las autoridades locales recogerán en la forma que hayan establecido y lo clasifican. Los sectores industriales se encargarán del reciclaje.

*Eco-emballage* también lleva a efecto campañas para informar sobre las ventajas económicas y ecológicas de la valorización y les estimula a clasificar sus residuos de modo que facilite la recolección.

Un resumen comparativo de sistemas de gestión de residuos en algunos países europeos se muestra en la tabla 1.5 siguiente:

Tabla 1.5: Comparativo de sistemas de Gestión Europeos.

	Alemania	Francia	Austria	Suecia
Sistema de gestión	DSD	<i>Eco-emballage</i>	ARA	NFR
Obligaciones	Reciclaje	Eliminar	Eliminar	Eliminar
Objetivos	Porcentaje de recogida y clasificación	Porcentaje de recuperación	Porcentaje de recogida y clasificación	Porcentaje de recuperación
Tipo de recuperación	Reciclaje	Reciclaje compostaje o incineración con recuperación energética	Reciclaje, compostaje e incineración con recuperación energética	Reciclaje, compostaje e incineración con recuperación energética
Garantía de retirada	Fabricantes de materiales	Fabricantes de materiales	Fabricantes de materiales	Productor
Recolección de residuos	Privada	Pública	Pública y privada	Privada en principio

Fuente: Xiberta, 1995.

La transnacional McDonalds en Suecia, encontró rechazo a sus envases/empaques tradicionales, por lo que se unió a la organización ambiental sueca *The Natural Step*, que le ayudó a entender los principios medioambientales y cómo incorporarlos a su enfoque estratégico.

Ahora McDonalds utiliza en ese país envases/empaques para ensaladas, basado en almidón, tazas de papel, cuchillería de madera y envolturas de papel muy delgadas para sus hamburguesas. Ha reducido considerablemente su desperdicio y ha permitido que este material entre efectivamente a flujos de reciclado sin contaminación.

La reducción en el contenido de los materiales y el número empleado de los mismos han hecho más sencillo el reciclado y los tipos de material, ahora en uso, evitan la

contaminación significativa que ocasionaban los materiales de envases/empaques tradicionales (Pardavé, 2004).

Podemos apreciar con lo mencionado que existen políticas ambientales de diversos países, principalmente europeos, que cuentan con sistemas de gestión de residuos que son muy exitosos o por lo menos en teoría podrían parecerlo. Además el sector privado contribuye en gran medida para resolver el problema de los envases en el medio ambiente, todo esto apoyado en la conciencia de los consumidores sobre el medio ambiente sin los cuales no habría éxito en tales sistemas.

Si existen sistemas de gestión de residuos eficientes, el problema de los residuos, el envase en la basura, aparenta tener una solución que consiste en la recuperación, reutilización y en el reciclaje (3R por sus letras iniciales).

La política ambiental de otros países nos indica que la reutilización y el reciclado de los envases no es la solución. Estados Unidos, el país más industrializado del mundo recicla el 10% de sus residuos, incinera otro 10% y el resto corresponde a acumulación de estos. Japón, el segundo país más industrializado practica la incineración como la principal forma de eliminación de residuos, 70% de ellos (Pardavé, 2004).

El éxito de los sistemas europeos radica en la conciencia de la población o consumidores. EU, acumula el 80% de sus residuos en 6,000 áreas legalmente reconocidas. En países en vías de desarrollo la situación no es más alentadora ya que no hay políticas gubernamentales preocupadas a fondo, no existen espacios legales suficientes para el almacenamiento de residuos y sobre todo no hay un compromiso hacia el medio ambiente por parte de la población.

Los hábitos actuales de los miembros de la sociedad moderna llevan a un creciente desperdicio de recursos materiales y energéticos, principalmente en lo que se refiere a envases de vidrio, aluminio, papel y plásticos. Las millones de toneladas de residuos de envases que se generan, indican que esta acumulación creciente no es sustentable en el largo plazo, principalmente en las sociedades de mayor poder de consumo; el

problema es más grave en países pequeños con alta densidad poblacional como Holanda. A estos desechos de consumo diario, deben sumarse otros tipos de residuos sólidos, tales como chatarra metálica y neumáticos. (Vega, 2002).

A pesar de que Mc Donalds en Suecia dio este gran cambio de envases/empaques compatibles con el medio ambiente, queda sin contestar la pregunta acerca de por qué tales cambios no pueden replicarse en todas las cadenas de comida rápida donde siguen empleando envases/empaques tradicionales.

## CAPÍTULO DOS

# EL PLÁSTICO COMO MATERIAL DE ENVASE DE ALIMENTOS

---

La palabra polímero deriva del griego *poly* que significa “muchos” y *meros* “partes”. Simplemente afirma que un polímero es una cadena larga de moléculas que está compuesta por un gran número de unidades repetitivas de estructura idéntica. El término polímero engloba una extensa variedad de materiales, tanto naturales como sintéticos. Ciertos polímeros como las proteínas, celulosa, almidón, pieles, lana y seda son encontrados en la naturaleza; mientras muchos otros, incluyendo el poliestireno, el polietileno y el nylon, son producidos únicamente por rutas sintéticas. En algunos casos algunos polímeros naturales pueden ser producidos por vías sintéticas. Un ejemplo importante es la goma natural conocida como polisopreno en su forma sintética.

Los polímeros que son capaces de una alta extensión en condiciones ambientales encuentran importantes aplicaciones como elastómeros. Además de la goma natural, hay varios elastómeros sintéticos importantes como el nitrilo. Otros polímeros pueden tener características que les permiten formar fibras largas adecuadas para aplicaciones textiles. Las fibras sintéticas, principalmente el nylon y el poliéster, son buenos sustitutos de fibras naturales tales como el algodón, la lana y la seda.

En contraste con el uso de la palabra polímero, los materiales comerciales (excepto los elastómeros y fibras sintéticas, que también son derivados de polímeros sintéticos), son llamados plásticos (Fried, 2003; Areizaga, 2002).

Si bien ésta es la correcta aplicación del término “plástico” en áreas de ciencia y tecnología, como veremos más adelante, sólo corresponde a una de las tantas clasificaciones de los polímeros. La palabra plástico viene del griego *plastikos*, que significa susceptible de ser moldeados; y probablemente sea en la actualidad este el concepto con el que se han familiarizado más las personas no relacionadas con el área.

*Plástico* es un término ocupado como sinónimo de polímeros sintéticos, sin tomar en cuenta otros elementos del área.

El desarrollo de los polímeros que se ha generado en los últimos 100 años, ha pasado del empleo de un solo material a una amplia gama de materiales con diversas aplicaciones. Por lo que es necesario entender este desarrollo para comprender el tema (Ver Anexo 2).

## ***2.1 EL USO DEL PLÁSTICO COMO MATERIAL DE ENVASE***

---

### ***2.1.1 Razones para usar plásticos en envases.***

---

En el pasado, la principal función del plástico fue la sustitución desmedida de materiales tradicionales (madera, piel, hueso, metal, vidrio y papel, entre otros), persiguiendo un legal y merecido lucro económico incrementado por la tremenda competencia del mercado que pronto repercutió en copias con sinónimo de “corriente”.

Hoy ha desaparecido casi por completo ese concepto lastimoso y despectivo dado que ha demostrado ampliamente que no sólo sirve para imitar materiales sino que cuenta con valor propio. Hoy se le encuentra presente en todos los sectores de la vida moderna desde sencillas bolsas multiusos hasta, incluso, en complicados circuitos y en desarrollos de aeronáutica.

Precisamente, la industria del envase y el embalaje es uno de los sectores donde es más ampliamente usado; desafortunadamente, es en este sector donde se le concibe como un producto que ha sido producido para un solo uso y después de éste indudablemente es roto o desechado (no se reciclan o reutilizan como debieran) (Báez, 2003).

### **Condiciones económicas**

El consumo de plástico como material de empaque, envase y embalaje, se ha venido incrementando a nivel mundial por razones muy sencillas, empezando por el costo, ya

que es generalmente más económico que otros materiales de empaque utilizados tradicionalmente (Rodríguez, 2007).

Los plásticos pueden resultar más ventajosos para ciertos alimentos si se consideran factores tales como su bajo peso, mayor facilidad para su llenado y comodidad para el consumidor. Pero incluso en mercados con diferentes condiciones competitivas, como en aquellas zonas poco industrializadas en las que los envases tienen que llegar desde lugares más o menos alejados, los plásticos pueden resultar mucho más económicos que los convencionales. Pueden ser fabricados prácticamente en cualquier parte y requieren menores inversiones (Heiss, 1977).

### **Consideraciones técnicas**

Este material tiene ventajas que lo hacen muy popular; es fácil de imprimir; tiene muy bajos costos en producción masiva y puede someterse a diversos procesos; permite gran libertad de diseños y alta productividad; no se oxida ni se modifica casi con ningún producto, excepto con solventes. Aunque no siempre sirve como barrera a gases, presenta una buena resistencia al agua y a la humedad; es regular su resistencia a grasas. Estructuralmente tiene buenas propiedades, ya que es fácil reforzarlo con costillas, relieves o estriados en las paredes del envase.

El desarrollo de diferentes materiales plásticos con características físicas de resistencia mecánica, apariencia y barrera a gases, ha permitido que cada vez un mayor número de productos recurran a su uso, haciendo énfasis en la industria de los alimentos donde propiedades como resistencia de envasado a altas temperaturas, alta barrera a humedad, barrera a gases como oxígeno y dióxido de carbono, no sólo han sustituido a envases de vidrio y latas, sino que han brindado más beneficios al consumidor final como un manejo más seguro del producto en comparación con la fragilidad del vidrio o la posible degradación o descomposición de los alimentos, sin la posibilidad de verificar su vigencia sólo hasta abrir el envase, como en el caso de las latas.

Se mencionan los envases de vidrio y las latas porque hasta hace poco tiempo eran las únicas alternativas para conservar por mayor tiempo los alimentos procesados, incluso

sin refrigerar. Ahora los envases de vidrio están siendo desplazados por envases de plásticos de PVC, polietileno, polipropileno, PET o envases formados por varias capas de materiales plásticos, que unen sus propiedades físicas para lograr envases con características especiales.

Las instalaciones necesarias para su fabricación pueden montarse en poco tiempo en los lugares donde exista la demanda de estos productos o en el centro de varios mercados. Actualmente, su fabricación resulta más económica, por las siguientes razones:

- a) Las materias primas y los productos manufacturados pueden almacenarse sin riesgo alguno en cualquier clima húmedo tropical.
- b) Su fabricación puede efectuarse únicamente durante la recolección de los productos.
- c) La fabricación puede cerrarse a voluntad y abrirse cuando se precise.
- d) La capacidad de producción puede aumentarse gradualmente de acuerdo con el incremento en la demanda.
- e) La fabricación se puede realizar de forma casi completamente automática (Rodríguez, 2007; Losada, 2000; Heiss, 1997).

### **Consideraciones de diseño**

Probablemente el uso más común del plástico en el mercado sea en forma de botellas, tarros, frascos y charolas, entre otros. La mayoría de ellos, creados para servir como contenedores de alimentos, medicamentos o productos químicos. Esta tecnología para transformar los plásticos en la industria del envase lleva cerca de 30 años avanzando a pasos agigantados (Losada, 2000).

Al diseñar en plástico la factibilidad es enorme; la versatilidad extraordinaria, su repetibilidad formal lo hace inigualable y por sus características físicas y químicas su adaptabilidad es predecible. (Báez 2003)

Las bondades de diseñar en plástico se deben principalmente a las propiedades del material. Gracias a su principal ventaja como la flexibilidad y maquinabilidad; se pueden generar bolsas flexibles con infinidad de grabados como ocurre con el papel; empaques angulosos como ocurre con el cartón; botellas como el vidrio, y ahora también latas como ocurre con el metal. Se pueden generar envases ergonómicos, vistosos, sofisticados y con marcados vértices, y las más caprichosas líneas onduladas, de acuerdo a la creatividad del diseñador.

Además, los polímeros han revolucionado las tradicionales etiquetas de papel. Las etiquetas eran bidimensionales en las superficies planas y tridimensionales al rodear los cuerpos cilíndricos, ahora se emplean etiquetas termoencogibles adaptables a la superficie del envase sin la necesidad de que cuente con una área plana o cuerpo cilíndrico.

Ocurre también que debido a la vida moderna se generen envases especiales destinados a ser usados en hornos de microondas domésticos. Por seguridad, se requiere que los metales sean excluidos de los envases, las únicas tres elecciones para los paquetes de microondas son: plástico, vidrio y papel, de estos tres, los plásticos son frecuentemente la mejor elección (Jenkis y Harrington, 1991).

### *2.1.2 Métodos de producción para envase (Vidales, 2003)*

En general los métodos de producción para envases de plástico se basan en el moldeo con diferentes técnicas. La extrusión se utiliza en la fabricación de delgadas películas por medio de calor y estirado para su posterior utilización en bolsas. Este es el método más utilizado. Las coextrusiones se forman de dos o más plásticos.

Probablemente el proceso más popular es el moldeo por inyección, que básicamente consiste en la inyección a presión de resinas calientes en moldes. El moldeo por soplado es similar al del vidrio y las botellas para diversos usos son los envases más comunes producidos con este método; puede combinarse con inyección y con extrusión.

El termoformado consiste en moldear delgadas láminas de resina por medio del calor, por presión o por vacío; las charolas y los contenedores son fabricados con este procedimiento.

Industrias como la alimenticia, farmacéutica o cosmética dependen en gran medida de estos nuevos elementos para el envasado de sus productos que llegan en forma masiva a los hogares del mundo entero (Vidales, 1999).

### 2.1.3 Composición de los polímeros (Areizaga, 2002).

Existen muchos tipos de plásticos, así como existen muchos tipos de metales y de otros materiales. Los plásticos están formados por moléculas en estructuras cristalinas y amorfas. Los plásticos son polímeros que tienen un elevado peso molecular, ya que son cadenas largas que contienen miles de moléculas (Rodríguez, 2007).

Una molécula de polímero está formada por la unión, mediante enlaces covalentes, de moléculas más pequeñas denominadas monómeros. La transformación monómero/polímero se lleva a cabo mediante las reacciones de polimerización. Aunque existe una gran variedad de ellas, es posible clasificarlas en grandes grupos. Muchos de los polímeros más conocidos se pueden englobar en dos grandes familias:

#### **Polimerización por adición a un doble enlace**

Se precisa la existencia en el monómero de un enlace doble, generalmente un enlace doble C=C. Es el caso de los monómeros vinílicos, representados por la formula general  $CH_2=CHX$ , donde X representa a un sustituyente. La reacción comenzará por el ataque de algún iniciador a uno de los carbonos del monómero, provocando la ruptura del enlace doble y dando lugar en el otro carbono a la aparición de un radical, un anión o un catión, que es por donde continuará la reacción, al facilitarse su ataque a otra molécula de un monómero.

## Polimerización por condensación de monómeros multifuncionales

En las polimerizaciones por condensación, una de las posibilidades es emplear monómeros multifuncionales en los que existan al menos dos grupos funcionales distintos, capaces de reaccionar entre sí mediante clásicas reacciones de condensación como las que se dan entre los grupos ácido y amina. En este tipo de polimerizaciones suele ocurrir la formación de una molécula pequeña, muchas veces agua, aparte de la macromolécula en cuestión. Los dos grupos funcionales reaccionantes distintos, necesarios para la reacción, pueden estar en la misma molécula del monómero (Areizaga, 2002).

### 2.1.4 Clasificación de los polímeros

Los polímeros pueden clasificarse de diversas formas de acuerdo a:

Tabla 2.1: Clasificación de los polímeros.

Clasificación	División
Origen	Naturales Biopolímeros Sintéticos
Estructura	Homopolímeros Copolímeros Termolipolímeros
Configuración de cadenas	Atácticos Isotácticos Sindiotácticos
Síntesis y obtención	Adición Condensación
Comportamiento al calor	Termoplásticos Termofijos
Comportamiento mecánico	Plásticos Fibras Elastómeros
Estructura arquitectónica	Amorfos Cristalinos

Fuente: CIQA 2007

### 2.1.5 Características de los plásticos (Rodríguez, 2007; Vidales, 2003).

Como se ha mencionado, los plásticos resultan una alternativa de envase en lugar de otros materiales tradicionales, sin embargo, decir plástico es tan general que puede no decir nada sobre las características de los mismos. De ante mano se aclara que no existe el “plástico perfecto” que funcione para toda aplicación, por lo que cuando se diseña un material de empaque, debe hacerse pensando en las necesidades específicas del producto (Rodríguez, 2007).

Estas son algunas de las características de los plásticos que los hacen particularmente útiles para la elaboración de envases y embalajes:

*Baja densidad:* Debido al bajo peso específico de los plásticos, los envases diseñados con estos materiales tienen enormes ventajas tanto en su costo original como en los costos de transporte y almacenamiento.

*Flexibilidad:* Pueden soportar grandes esfuerzos sin fractura y algunos elastómeros pueden recobrar su forma y dimensiones originales cuando la fuerza es removida.

*Resistencia a la fatiga:* Algunos plásticos tienen un comportamiento satisfactorio a la fatiga que los hacen muy aptos para resistir esfuerzos dinámicos como dobleces.

*Bajo coeficiente de fricción:* La interfase plástico/plástico o plástico/metal presenta bajo coeficiente de fricción, lo que se puede eliminar con el uso de lubricantes.

*Baja conductividad térmica:* Los plásticos tienen un alto coeficiente de aislamiento térmico lo cual puede ser ventajoso, a veces, para controlar las variaciones de las temperaturas externas.

*Resistencia a la corrosión:* Son altamente resistentes a la humedad, oxígeno, ácidos débiles y soluciones salinas. Algunos plásticos tienen alta resistencia a los solventes orgánicos.

*Resistencia al impacto:* Por naturaleza, los materiales plásticos tienen buena resistencia al impacto que en algunos casos puede ser mejorada mediante la incorporación de aditivos.

*Propiedades ópticas:* Hay materiales plásticos transparentes, translucidos y opacos. Esta propiedad puede ser fácilmente modificada mediante la adición de pigmentos dispersos o colorantes.

*Integración del diseño:* Los procesos de producción y las propiedades del plástico ofrecen la posibilidad de diseñar y manufacturar formas polifuncionales sin la necesidad de ensamblaje posterior.

*Economía:* Tomando en cuenta su densidad, la materia prima del plástico es relativamente económica.

*Higiene:* Un diseño adecuado del envase en cuanto a materias primas y hermeticidad hacen a los envases plásticos altamente higiénicos.

*Seguridad:* El usuario de un objeto de plástico difícilmente puede sufrir cortaduras u otras lesiones (Vidales, 2003).

Los diferentes plásticos han sido desarrollados para cubrir necesidades específicas, por lo que existe una gran variedad de ellos. En empaque, los plásticos se utilizan básicamente para la manufactura de recipientes, botellas garrapas, vasos, sobres, bolsas, estuches y tapas, también son muy utilizados como elementos de protección en embalajes en forma de películas.

Para el caso de los recipientes rígidos, las características que generalmente se buscan son:

- Resistencia mecánica del recipiente que evite colapsos.
- Impermeabilidad a gases (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, vapor de agua)
- Evitar monómeros residuales.

- Resistencia a envasado a altas temperaturas.
- Que no altere el olor y/o el sabor del producto.
- Evitar migración del producto a través de las paredes del envase.
- Transparencia.

Mientras que las bolsas y sobres, que se pueden fabricar de uno a varios plásticos laminados, se pueden lograr características muy favorables para la conservación del producto que generalmente están orientados a:

- Impermeabilidad de gases.
- Que no imparta olores y/o sabores.
- Protección ante la luz y rayos ultravioletas.
- Buen deslizamiento en máquinas.
- Buen sellado.
- Resistencia al rasgado o punción.

Particularmente en lo que respecta a la permeabilidad de gases de los plásticos, ésta resulta ser una propiedad de mucha importancia para el envasado de alimentos ya que principalmente el oxígeno reduce la vida útil de los alimentos (Rodríguez, 2007).

### **Propiedades de los plásticos (Vidales, 2003).**

Como material para envases, los plásticos ofrecen grandes ventajas. La principal característica y quizá la más atractiva sea lo económico que resulta su elaboración. Por otra parte es un material muy versátil, que lo mismo se pueden explotar sus propiedades dúctiles como de gran resistencia. Aunado a ello, destaca su ligereza respecto a otros materiales tradicionales así como el ahorro de energía que se logra en su fabricación, lo cual lo hace la opción más económica en el mercado. Cabe señalar que parte de la energía que se utiliza en su elaboración puede ser recuperada como energía calorífica cuando se quema el material, cualidad que no se presenta con otros materiales.

Las propiedades de los plásticos pueden ser:

### **FÍSICAS**

La estructura interna de los plásticos determina sus propiedades fundamentales y es la causa de las diferencias del plástico con otros materiales. Por ejemplo, los plásticos

tienen densidad más baja que otros materiales debido a que sus cadenas moleculares son más desordenadas, esto también provoca absorción de humedad, comportamiento que en muchos casos no es el deseado debido a que afecta el procesamiento del material.

La absorción de humedad, por ejemplo, depende de la polaridad de cada plástico; los materiales no polares absorben muy poca humedad y los materiales polares toman humedad en niveles elevados.

La estructura molecular también afecta la transparencia de los plásticos. Por ejemplo, si la constitución es desordenada, es decir amorfa, el material plástico será transparente; y si la estructura presenta un mayor ordenamiento el resultado será una propiedad más cristalina y por lo tanto el material será translucido.

Otra propiedad que está determinada por esta estructura es la permeabilidad, la cual se refiere a la estructura del plástico. Si ésta es compleja o muy cristalina, el material presentará propiedades de barrera elevadas. En contraste, si la estructura es amorfa, la barrera será baja y permitirá el paso de algunos gases.

Esta cualidad es importante sobre todo en el sector del envase donde se requieren explotar ciertas características para algunas aplicaciones específicas. Un ejemplo de ello son los envases de bebidas carbonatadas que requieren evitar el paso del  $\text{CO}_2$ ; o el empacado de carnes y quesos, donde es necesario aislar el producto del paso del  $\text{O}_2$  y  $\text{N}_2$ .

## MECÁNICAS

Los plásticos, a diferencia del vidrio y del metal, tienen una estructura molecular que les permite desarrollar una resistencia mecánica relativamente menor, un módulo de elasticidad más reducido, lo cual le permite mantener sus propiedades mecánicas respecto al tiempo y retardar cualquier modificación de propiedades por efecto de la temperatura.

En algunos casos se presenta un comportamiento de deformación y de recuperación interna de los plásticos, la cual le confiere una cualidad a la que se le ha llamado memoria, que en algunas ocasiones ayuda a piezas sometidas a impactos a recuperar su forma, pero que en otros casos, provoca problemas para su uso. Un ejemplo de ellos es la película de polipropileno, que al torcerse sobre un dulce para envolverlo, llega a destorcerse, desenvolviendo el producto envasado.

No obstante las propiedades pueden ser modificadas mediante aditivos, cargas, refuerzos y a través de variantes en los procesos de transformación.

## TÉRMICAS

Los plásticos en su gran mayoría no son buenos conductores de calor, por lo que se consideran aislantes; sin embargo, cada uno de ellos presenta un comportamiento diferente en sus propiedades cuando son expuestos al calor de acuerdo a las características de su estructura.

Los plásticos termofijos, por ejemplo, son aquellos plásticos en los que durante su proceso de moldeo ocurre una reacción química de polimerización, de tal manera que al terminar este proceso, éstos materiales ya no son susceptibles de una nueva fusión. Por esa razón se presentan quebradizos a lo largo de todo el intervalo de temperaturas, no presentan reblandecimiento ni fusión, y ligeramente por debajo de la temperatura de descomposición, pierden parcialmente su rigidez.

En cambio, los termoplásticos sí reblandecen, se funden y sus propiedades mecánicas se modifican paulatinamente con respecto al tiempo. En estos plásticos ya no hay reacción, pueden moldearse y remodelarse y, además, pueden ser reutilizados mediante la granulación. Este grupo de materiales primero presenta un reblandecimiento que se considera la transición del estado sólido al estado termoelástico, posteriormente se incrementa la movilidad de las moléculas hasta llegar a un estado completamente fundido donde el material es transparente.

Gracias a su estructura molecular los termoplásticos presentan dilatación volumétrica con el aumento de temperatura, modificándose este comportamiento cuando se encuentran formulados con cargas y refuerzos.

## ELÁSTICAS

Los elastómeros son conocidos también como hules sintéticos. Son un tipo de materiales plásticos que poseen una estructura molecular que les proporciona una gran elasticidad. Estos plásticos después de haber sido deformados por la aplicación temporal de una fuerza ligera regresan rápidamente a sus dimensiones iniciales.

Los elastómeros se forman sin la adición de diluyentes ni plastificantes y, dependiendo de su naturaleza química, pueden ser termofijos o termoplásticos. Cabe señalar que los elastómeros sólo son un grupo más de los polímeros, si consideramos su comportamiento mecánico; además existen las fibras y los plásticos, ambos con menor elasticidad que los elastómeros.

## ELÉCTRICAS.

Debido a que los plásticos no poseen electrones libres móviles, no logran conducir la electricidad y por lo tanto se convierten en materiales aislantes de la misma. Por esta razón se emplean en el recubrimiento de cable y alambre, así como en clavijas para equipo eléctrico y electrónico.

## QUÍMICAS

Los plásticos al tener una estructura molecular compleja y estable, se consideran materiales inertes frente a la mayoría de las sustancias líquidas, sólidas y gaseosas comunes, características superadas únicamente por el vidrio. Sin embargo, los plásticos continúan presentando desarrollos e incluso cuando algunos materiales puedan ser afectados por algunas sustancias químicas, día con día se desarrollan modificaciones donde la resistencia de estos materiales aumenta, aún en condiciones extremas de presión, humedad e intemperie y factores que aceleran el proceso de degradación de los plásticos (Vidales, 2003).

### 2.1.6 Desventajas de los plásticos (Vidales, 2003).

Como todos los materiales, los plásticos tienen limitaciones, que en muchos casos presentan serios inconvenientes para su uso, de las que podemos mencionar:

1. Baja resistencia a las temperaturas elevadas: las temperaturas altas pueden llegar a fundir el material plástico, con la consecuente pérdida de propiedades.
2. Baja resistencia a los rayos ultravioleta y a la intemperie: este comportamiento puede mejorarse marcadamente incorporando aditivos apropiados.
3. Deterioros en la superficie: la mayoría de los termoplásticos pueden rayarse con objetos duros.
4. Resistencia variable a la abrasión: esta característica depende de las condiciones exactas de uso.
5. Inflamabilidad: todos los plásticos son combustibles; sin embargo, el grado de combustión depende de varios factores como la composición del plástico, la temperatura y el tiempo de exposición al calor. La adición de agentes anticombustibles puede remediar esta situación.
6. Deformación térmica: los plásticos cambian sus dimensiones con los cambios de temperatura en un rango bastante alto.
7. Orientación: las largas moléculas de los plásticos tienden a alinearse a la dirección en la que fluye el material durante el proceso de producción. Este efecto es similar al de la veta de madera. El material es mucho más resistente a lo largo del grano que a través de él.
8. Menor vida de anaquel: en relación con el metal, por ejemplo, la vida de anaquel de las tapas y envases de plástico puede ser menor, debido a que se deteriora con más facilidad que éste (Vidales, 2003).

## 2.2 PLÁSTICOS USADOS COMO MATERIAL DE ENVASE EN ALIMENTOS

### 2.2.1 Principales plásticos (Rodríguez, 2007, Losada, 2000).

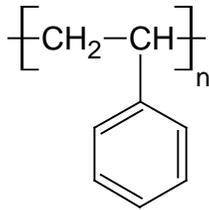
Si bien el uso de los polímeros sintéticos se ha extendido plenamente en el mercado, sólo tres grupos de ellos ocupan tres cuartas partes del mercado: **las poliolefinas**, como el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el isobutileno, y también el polietileno

(PET); **los polímeros vinílicos** como el poli(cloruro de vinilo) (PVC), y **los productos estirénicos** como el poliestireno (PS) (Maldonado, 2005; Losada, 2000; Vidales, 1999; Volke, 1998).

### **Poliestireno (PS)**

De los polímeros para termoformado es el más utilizado en términos de volumen. El poliestireno es un material termoplástico sin sabor ni olor, con una importante resistencia al agua y a la humedad, se puede encontrar en dos tipos: el de uso generalizado (GPPS, por sus siglas en inglés) y el de alta resistencia al impacto (HIPS, por sus siglas en inglés). Este último tiene incorporado un aditivo (principalmente polibutadieno o hule butadieno de estireno en cantidades de 10% por volumen), que reduce su fragilidad.

Figura 2.1: Poliestireno (PS).



Los principales envases fabricados con GPPS son charolas para comercializar y consumir alimentos, charolas para carnes, envases para alimentos y productos farmacéuticos y médicos. Este material posee una resistencia muy baja a la humedad y a las grasas, por lo que no es recomendable su uso en productos alimenticios como mantequilla, margarina o aceites comestibles; sin embargo, estas deficiencias son benéficas en el caso de envasado de frutas, verduras frescas o productos que despiden humedad.

Para mejorar su comportamiento y utilizarlo en ambos tipos de productos eficientemente se puede coextruir una capa de GPPS y otra de HIPS; esta combinación se utiliza en la mayoría de los envases de yogur. El poliestireno de alto impacto HIPS se usa principalmente en charolas profundas para alimentos secos, charolas para huevos, contenedores para helado y vasos, entre otros.

Los procesos que se utilizan para fabricar envases con este material son el termoformado y el moldeado al vacío. El material generalmente se adquiere en forma de láminas de diferentes calibres. En altas producciones puede laminarse con polietileno para obtener superficies muy atractivas de colores vivos.

El poliestireno se puede obtener en varias modalidades, desde traslúcido hasta opaco, dependiendo de su resistencia al impacto y del grueso de la pared. Hay que recordar que este material se intemperiza (modificaciones a la estructura original debidas a la acción de los elementos naturales del clima) coloreándose de amarillo con el tiempo y la exposición a la luz.

Puede también expandirse adicionando un agente espumante hidrocarburo; formando así pequeñas cuentas o perlas de material que al ser sometidas al calor (entre 90 y 105°C) en un recipiente al vapor, y mezclando continuamente, genera este aumento de volumen; después se moldea aplicando otra vez calor, con lo que vuelven a expandirse, uniéndose por fusión en las superficies que hacen contacto. Este tipo de envases –generalmente vasos, platos o charolas- es utilizado para la venta de productos de consumo inmediato, como bebidas, alimentos preparados, carnes y verduras frescas o congeladas. Casos en los que su conservación no depende del envase.

Los envases fabricados con poliestireno expandido tienen una muy baja conductividad al calor, funcionan como aislantes para bajas y altas temperaturas, además de que tienen gran resistencia al impacto por su capacidad de absorber los golpes. Un inconveniente importante de este material es que tienen poros por donde se filtran los líquidos, grasas y gases, lo que los hace no aptos para contener productos alimenticios por mucho tiempo. Otro inconveniente más es que es muy inflamable.

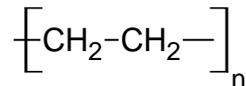
Aparte de fabricarse contenedores también se fabrican hojas con las que se moldean envases múltiples del tipo *clam-shell* y charolas para alimentos. Su uso como material auxiliar de protección interna en embalaje con cajas de cartón corrugado es muy importante, ya que con él se pueden moldear piezas de superficies lisas y suaves,

además es muy ligero por tratarse de un espumado e inerte –contiene aire mezclado con el material, que reduce su peso pero no su fuerza estructural-.

### **Polietileno (PE)**

Es insípido, no tóxico, más ligero que el agua y un poco blancuzco, aunque laminado en películas es totalmente transparente. Es muy resistente al agua, al vapor de agua, a los químicos, a bajas temperaturas y es buen aislante eléctrico. Tiene una resistencia a ácidos y álcalis igualable sólo por el vidrio, no existe ningún producto que lo disuelva como a otros plásticos, se necesita de altas temperaturas y de solventes para que ocurra el proceso.

Figura 2.2: Polietileno (PE)



Las propiedades del polietileno pueden variar dependiendo de la presión con la que se trabaje, de los catalizadores utilizados en el proceso de polimerización y de su densidad (se clasifican en VLDPE, LDPE, MDPE, HDPE, que de acuerdo a sus siglas en inglés, su densidad puede ser muy baja, baja, media y alta, respectivamente, *very low*, *low*, *middle* y *high*).

Este material permite fabricar envases –principalmente tarros, botellas y bidones- por medio de procesos de inyección, inyección-soplado o soplado que permite por sus características controlar el moldeado del cuerpo –para que se ajusten exactamente a ciertos requerimientos y tolerancias-; y la boca –a fin de que puedan cerrarse mediante tapas de presión o roscas, metálicas o plásticas.

Estos procesos permiten diseñar envases de muchas y muy diferentes formas, características y acabados, y obtener producciones altas y perfectamente controladas.

La cantidad de productos que se envasan en este material es innumerable, desde productos alimenticios, medicamentos, productos para higiene y limpieza hasta aceites

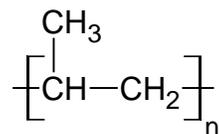
y productos para la industria automotriz, entre otros. El material puede utilizarse al natural o pigmentarse de cualquier color translúcido u opaco y es posible agregarle cargas metálicas o perladas para obtener acabados exclusivos.

El uso del polietileno como película es igualmente amplio. De polietileno están hechas casi todas las bolsas de supermercado, las bolsas para envasar granos, semillas y frutas, vegetales secos, productos congelados; en fin, casi todo tipo de productos que por sus características no requieren la utilización de materiales especiales.

### **Polipropileno (PP)**

Es el polímero de mayor peso entre los comercialmente usados. Brinda buena rigidez y dureza de superficie, es brillante y translúcido, tiene buena resistencia al calor y es posible extruirlo para formar películas y laminarlo con otros materiales.

Figura 2.3: Polipropileno (PP)



Con él se fabrican sobres para envasar alimentos que requieren de barreras a las grasas y gases como cacahuates, frituras, dulces, bebidas en polvo, té y café instantáneos, sopas y alimentos deshidratados, aderezos para ensalada, galletas, mostaza y salsa de tomate, entre otros. Estos sobres están cerrados por termosellado. Con esta aplicación, el polipropileno, ha desplazado casi en su totalidad al celofán ya que comparativamente el BOPP (polipropileno bioorientado), es más económico y con excelentes propiedades, transparencia, resistencia a la punción y muy poca resistencia al rasgado, características que lo hace idóneo para las aplicaciones antes citadas.

Este material puede moldearse y termoformarse mediante varios procesos; tiene gran resistencia al calor y a las grasas, por lo cual se usa ampliamente en envases rígidos donde el llenado del producto se realiza en caliente como jarabes y mieles. También por sus propiedades es empleado en envases de leche, yogur y mantequilla, vasos desechables, especias y charolas de uso médico y hospitalario. Posee gran flexibilidad

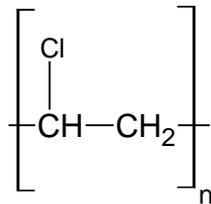
y resistencia a la rotura, por lo que es ideal para hacer envases resellables, de tipo *clam shell*, embisagrando la tapa y el cuerpo al moldearlos en una sola pieza.

También se ha desarrollado una lata de plástico, incluyendo las costuras del cuerpo con el fondo y el cuello. Esta lata es muy versátil, ligera y resistente al impacto, por lo que puede representar una buena alternativa a la tradicional lata de metal o al envase de vidrio. Este material permite observar los colores y las formas del contenido.

### **Poli (cloruro de vinilo) (PVC)**

Uno de los primeros plásticos para extrusión de envases rígidos que tuvo la característica de ser transparente y por tal razón durante muchos años fue la mejor alternativa de envases rígidos para aceites comestibles y agua purificada, entre otros.

Figura 2.4: Cloruro de polivinilo (PVC)



Éste es un polímero muy versátil, por sus usos y métodos de transformación, ya que puede extruirse en láminas muy delgadas, termoformarse o moldearse por inyección o por inyección-soplado. Tiene buena resistencia a la luz, al calor y a las grasas. Brinda también buena claridad, y resistencia al impacto. Este material tiene diferentes grados de dureza, desde rígido hasta suave, al agregársele plastificantes.

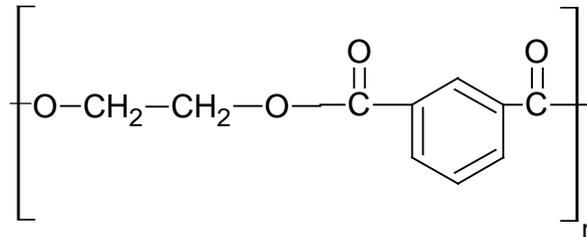
Se utiliza en la industria del envase como exhibidor en una muy alta producción, principalmente de *blister pack*, charolas para pastillas o cápsulas para medicamentos, película agrícola y aislante, entre otros.

Su aplicación más generalizada ha sido en la fabricación de sellos de garantía en forma de bandas, así como también en películas termoencogibles (charolas) y en películas estirables utilizadas en estibas.

## Poli (tereftalato de etileno) (PET)

El PET es un polímero estable con una muy alta resistencia a la luz, al calor y a los solventes y productos químicos; presenta buena barrera a gases y humedad; cuenta con una gran resistencia al rasgado, no se fractura; es altamente transparente y brillante. Casi no es necesario añadirle aditivos o estabilizadores como al PE, PP y PVC.

Figura 2.5: Poli (Tereftalato de etileno) (PET)



El PET es un poliéster grado botella, utilizado para envases rígidos; sin embargo, también se encuentra en forma de película siendo ésta forma a la que se le conoce como poliéster.

Se puede someter a varios procesos, por ejemplo, se puede combinar con otros materiales poliméricos para obtener láminas para co-extrusión, o bien, se puede termoformar o procesar por inyección o inyección-soplado para obtener envases y recipientes. Como película su característica de alta barrera a gases lo hace idóneo para el envasado de productos que requieren de una buena barrera al oxígeno o que necesitan conservar una atmósfera modificada, por ejemplo, con nitrógeno.

La rápida difusión de las botellas de PET se debe a la acertada sustitución de las botellas de vidrio. Su gran auge se atribuye a factores como alta resistencia al impacto, transparencia, ligereza, facilidad de manejo, bajo costo en volúmenes muy altos, posibilidad de colorearse para evitar el paso de rayos UV que dañen el contenido y resistencia, que permite fabricar con él envases retornables, inastillables e irrompibles al impacto. En comparación con las botellas de vidrio, tiene mayor capacidad o volumen interior debido a lo delgadas que son sus paredes, las cuales pueden estructurarse fácilmente para aumentar su resistencia interior y exterior.

El PET se emplea en alimentos que no sean envasados a temperaturas mayores a 60°C, ya que a esta temperatura el envase se deforma rápidamente. A la fecha se han logrado formulaciones de PET resistentes al calor y dimensiones estables (PET cristalizado CPET), adecuadas al procesamiento térmico de alimentos a altas velocidades, como el llenado en caliente o el esterilizado a alta temperatura (Rodríguez, 2007; Losada, 2000).

### 2.2.2 Otros plásticos (Rodríguez, 2007).

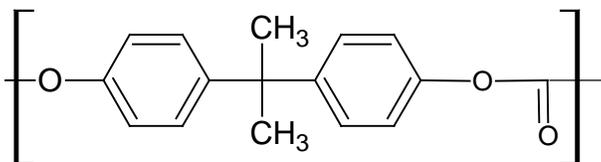
#### **Policarbonato (PC)**

Forma: Envases rígidos.

Características: Altamente transparente, rígido, resiste altas temperaturas, no posee barrera a gases y es muy estable dimensionalmente, es considerado como polímero de ingeniería y es un material de alto costo casi comparado con el vidrio.

Usos: Biberones, discos compactos.

Figura 2.6: Policarbonato (PC)



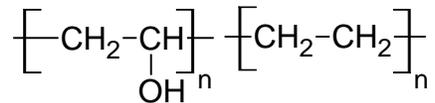
#### **Etil vinil alcohol (EVOH)**

Formas: Co-extruido en envases semi rígidos y co-extruido en películas.

Características: Es uno de los materiales de mayor barrera al oxígeno, altamente higroscópico, entre mayor presencia de humedad se tiene, el EVOH pierde barrera significativamente al oxígeno. Este material sólo se utiliza coextruido con capas externas de alguna poliolefina (LDPE) que funciona como barrera a gases del EVOH.

Usos: En envases semi rígidos para mayonesas y catsup, en películas para productos que requieren una alta barrera a gases, como embutidos y algunas frituras, que son envasadas en un sistema de atmósfera modificada.

Figura 2.7: Etil vinil alcohol (EVOH)



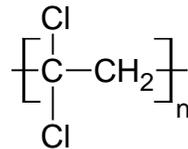
### **Poli (cloruro de vinilideno) (PVDC)**

Formas: Como recubrimiento de otros plásticos.

Características: Muy alta barrera al oxígeno.

Usos: Como recubrimiento de películas de PVC, para mejorar substancialmente su barrera al oxígeno; muy utilizado como película para termoformado de *Blister Pack* en farmacéuticos.

Figura 2.8: Cloruro de polivinilideno (PVDC)



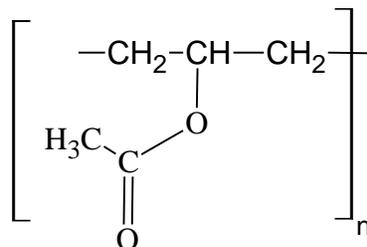
### **Etil vinil acetato (EVA)**

Formas: Como mezcla con polietileno y como agente de sello.

Características: Al mezclarse con polietileno tanto de baja como de alta densidad, da como resultado un copolímero resistente a la despolimerización por efecto de temperaturas de congelación, así como por efecto de degradación de químicos como los detergentes.

Usos: Envolturas de productos congelados (paletas, helados) y envases rígidos para detergentes.

Figura 2.9: Etil vinil acetato (EVA)



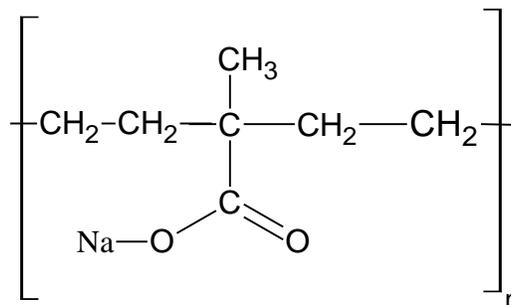
## Ionómero (Surlyn)

Formas: Extruido y en película.

Características: Material utilizado para sellos con presencia de grasas y aceites, natural adherencia al aluminio, rango amplio de sellado.

Usos: Agente de sello en estructuras flexibles para productos con presencia de grasas, bolsas para quesos y lácteos en general.

Figura 2.10: Ionómero (Surlyn)



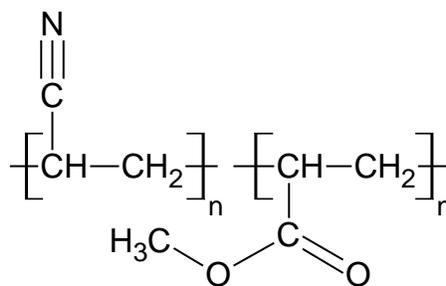
## Copolímero acronitrilo metacrilato (BAREX ®)

Formas: Piezas sólidas y hojas para termoformado.

Características: Material de muy alta barrera a gases principalmente al oxígeno.

Usos: Envases termoformados para quesos y cárnicos (Rodríguez, 2007).

Figura 2.11: Copolímero acronitrilo metacrilato (Barex)



## 2.3 RECICLAJE DE ENVASES DE PLÁSTICO (Pardavé, 2004; Vega, 2002).

El reciclaje de los materiales termoplásticos es uno de los problemas más complejos en el aprovechamiento de los residuos sólidos domiciliarios (RDS). Esto se debe a la

variedad de distintos tipos de polímeros que forman los productos termoplásticos más comunes, por la dificultad para distinguirlos y seleccionarlos, por la gran variedad de envases y otros objetos que existen, por los distintos colorantes y aditivos que contienen y por la limpieza que deben poseer para su mejor aprovechamiento.

Por estas razones las experiencias mundiales sobre reciclaje de materiales termoplásticos no han sido exitosas. De hecho, los principales residuos plásticos que se aprovechan son los desechos industriales; los materiales que no puede procesar la industria que los produce son reciclados por otras empresas para utilizarlos en la confección, por ejemplo de bolsas para basura y otros usos (Vega, 2002).

Figura 2.12: Símbolo del triangulo con letras concéntricas para facilitar reciclado



Fuente: Vega, 2002.

En 1998 el Instituto de Botellas plásticas de la Sociedad de la Industria de los Plásticos de los Estados Unidos (SPI), propuso crear un sistema de codificación que tiene como finalidad auxiliar a empresas recicladoras en la selección de los plásticos de acuerdo con el tipo de resina con que están fabricadas y el logo del triangulo de que se utilizaba para promover el reciclado de los plásticos (Figura 2.12). Inicialmente este sistema era voluntario, hoy es utilizado casi en el mundo entero.

El sistema creado queda aplicado durante el moldeo o impreso por algún método en la base del contenedor y/o tapa del envase plástico. El tamaño mínimo del triángulo de flechas es de ½ pulgada y el tamaño máximo, de 2 pulgadas. El código deberá ser colocado en el fondo del envase tan cerca del centro como lo permita el diseño (Pardavé, 2004).

Gracias al uso del código implementado se ha podido generar productos reciclados a partir de diversos productos originales, ver tabla 2.2.

Tabla 2.2: Clasificación de los polímeros para su reciclaje

<b>Polímero</b>	<b>Código de reciclaje</b>	<b>Materiales Originales</b>	<b>Materiales reciclados</b>
Poli (tereftalato de etileno) (PET)	1	Envases para bebidas gaseosas y aceites.	Bandejas, sacos de dormir.
Polietileno de alta densidad (PEAD)	2	Envases, bolsas, juguetes, objetos de aseo.	Baldes, maceteros, ganchos para ropa
Policloruro de vinilo (PVC)	3	Cañerías, envases para detergentes y cables eléctricos.	Mangueras, juguetes.
Polietileno de baja densidad (PEBD)	4	Bolsas, manteles, envases para crema y champú.	Bolsas para basura, envases, artículos de hogar.
Polipropileno(PP)	5	Juguetes, vasos, sacos, envases de alimentos.	Baldes, peinetas, juguetes.
Poliestireno(PS)	6	Vasos, bandejas de alimentos, envases de lácteos.	Tubos para pelo, peinetas, artículos para promociones.
Otros	7	Computadoras, teléfonos, televisores.	Baldes, juguetes, platos.

Fuente: (Vega 2002)

Las técnicas empleadas para el reciclaje de polímeros de adición, tales como el PE o PP, implican el lavado y secado de los residuos de estos materiales y posteriormente el mismo procesamiento que el material virgen. La condición para que estos reciclajes sean posibles es que el residuo tenga al menos un 65% de polímero.

El polímero de condensación más empleado en envases es el PET. El reciclaje de este producto implica normalmente una reconversión más radical: despolimerización con metanol y repolimerización, seguida de fusión y moldeo para el caso de botellas. La despolimerización del PET da origen a las mismas materias primas que producen el PET virgen; como se obtienen impuras, se destilan para purificarlas y sólo después se polimerizan (Vega, 2002).

# CAPÍTULO TRES

## BIOPOLÍMEROS COMO MATERIALES DE ENVASE EN ALIMENTOS

---

---

### *3.1 BIOPOLÍMEROS APLICADOS A ALIMENTOS*

---

#### *3.1.1 Aplicaciones de los biopolímeros dentro de la industria de alimentos.*

---

Los polímeros naturales cumplen distintos papeles en el desarrollo y continuación de la vida, componen la estructura de los organismos, son reserva energética y nutritiva, tienen sus respectivos compuestos que los degradan ya sea por la acción de enzimas, microorganismos como son bacterias, hongos y algas, por la acción de los rayos solares, o de los insectos, gusanos o bien por la reacción química con el oxígeno o agua (Maldonado, 2005).

Los polímeros naturales; proteínas, carbohidratos y ácidos nucleídos; son el componente mayoritario dentro de los seres vivos después del agua; es decir, tanto el hombre como sus alimentos deben principalmente su estructura, supervivencia, desarrollo y continuación de la vida a este tipo de polímeros. La aplicación principal de los biopolímeros para el hombre es fungir como alimento.

Las aplicaciones de polímeros de origen natural en la ciencia y tecnología de alimentos son ya bien conocidas. Otra aplicación muy difundida es la de aditivos en los procesos de alimentos, farmacia y otros. En la tabla 3.1 explicamos brevemente algunos de estos ejemplos.

Si bien los usos principales son los que se mencionan en la tabla, estos polímeros se emplean también como materiales de envase que es la aplicación de mayor importancia para nosotros en este tema. No sólo actualmente sino a través de la historia se han empleado materiales de origen biológico como envase.

Tabla 3.1: Polímeros naturales en la industria de alimentos.

<b>Biopolímero</b>	<b>Aditivo</b>	<b>Función</b>
Proteínas	Queratinas	Estructurantes
	Colágeno	Retener agua Gelatina. Coloide protector, forma geles elásticos termoreversibles que se usan como: espesantes, adhesivos, emulsionantes y estabilizantes, agente clarificante de líquidos
	Albuminas, globulinas	Ligantes de agua para mantener humedad.
Carbohidratos	Mono, di y trisacáridos	Son conservadores, se utilizan en los alimentos, para dar sabor, dulzura y textura. Añaden algunas propiedades reológicas (viscosidad, maquinabilidad, plasticidad, fluidez), opacidad
	Polisacáridos	Gomas. Espesantes y plastificantes

Fuente: Con datos de Maldonado, 2005.

### *3.1.2 Aparición de los biopolímeros como material de envase.*

En particular al emplear materiales de origen biológico como envase en alimentos los podemos clasificar en dos: comestibles y no comestibles (Arjona y Martin, 1997; Becerra, 2001). Los comestibles hasta ahora han sido los más difundidos, y muchas veces no son reconocidos como envases. Los no comestibles son los de mayor importancia en este trabajo dado que pueden cumplir funciones de envase primario, secundario y terciario.

#### **Envases comestibles**

Los envases comestibles se pueden dividir a su vez en dos: películas y recubrimientos. Una película comestible es definida como una película delgada de un material comestible la cual puede ser aplicada sobre un alimento, o como recubrimiento, o bien entre los componentes del alimento. Su función es ofrecer una barrera selectiva para retardar la migración de humedad, gases, (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>), aceites y grasas; transporte de solutos; mejorar las propiedades de manejo mecánico de los alimentos, retener compuestos volátiles que proporcionan sabor y portar aditivos alimentarios, tales como

antioxidantes y antimicrobianos. La resistencia a la migración de vapor de agua en una película o recubrimiento comestible es la característica principal.

No hay una clara distinción entre una película y un recubrimiento comestibles, generalmente los dos términos son intercambiados. Usualmente, los recubrimientos son directamente aplicados y formados sobre la superficie del alimento, mientras que las películas son formadas aparte, como sabanas delgadas y posteriormente son aplicadas sobre el alimento (Robertson, 2006).

Las películas o cubiertas comestibles han sido empleadas ampliamente de forma empírica para proteger productos alimenticios desde los tiempos antiguos. Algunos ejemplos de aplicaciones para mejorar la apariencia del producto y conservación del mismo incluyen las cubiertas de azúcar tradicionales (grageas, obleas de almidón en dulces de cajeta, garapiñado de semillas como nueces o cacahuates); las cubiertas con lípidos sólidos o aceites también comúnmente usados para cubrir o proteger alimentos como el jamón serrano y conservas de productos cárnicos en los países nórdicos o las capas gruesas de gelatina en la conservación de paté para evitar su deshidratación parcial. Las películas comestibles representan un parámetro interesante a menudo complementario y esencial para controlar y mantener la calidad y estabilidad de muchos alimentos.

Existen en la literatura diversidad de trabajos, patentes y artículos muy interesantes acerca de la formulación, la tecnología de elaboración y ejemplos de aplicación de películas comestibles empleando una gran cantidad de técnicas y haciendo uso de aspectos básicos de los mecanismos de formulación de películas o barnices, cubiertas y microencapsulación de ingredientes activos que son descritas en estudios enfocados a aplicaciones farmacéuticas. Las pruebas o mezclas de diferentes materiales como son los carbohidratos, las proteínas, los lípidos y aditivos como agentes ligantes, humectantes, espesantes, antioxidantes o antibacterianos para obtener películas, cubiertas, capas monocomponentes, bicapas o multicapas han sido propuestas en la literatura (Becerra, 2001; Arjona y Martin, 1997).

## **Envases no comestibles**

Al término del siglo XIX la mayoría de los productos industriales no correspondientes a combustibles; tintes, pinturas, medicamentos, químicos, textiles, fibras sintéticas y plásticos provenían de fuentes naturales. Hacia los años 70's del siglo pasado los materiales derivados del petróleo se extendieron ampliamente remplazando a los materiales derivados de fuentes naturales (Robertson, 2006; Mohanty et al, 2005; Ötles, S y Ötles, S, 2004; Weber, 2000).

Los polímeros sintéticos, en poco más de medio siglo (si consideramos su aparición en el mundo del envase en la década de los 50's, del siglo XX), han tenido un enorme crecimiento en la aplicación de los materiales de envase. Los plásticos basados en el petróleo tales como las poliolefinas, poliésteres y poliamidas, entre otros, han estado incrementando su uso como materiales de envasado debido a su disponibilidad a un bajo costo y a sus características funcionales favorables, tales como buena tensión y fuerza de rasgado; buenas propiedades de barrera al oxígeno y compuestos aromáticos y sellabilidad térmica (Alves et al, 2006; Tharanathan, 2003; Tharanathan, Saroja, 2001).

En los años 70 hubo una crisis mundial del petróleo, en la que el precio del combustible fósil creció mucho. En este contexto, las investigaciones alrededor de los polímeros de recursos renovables florecieron y la empresa ICI desarrolló un proceso para producir a escala industrial un bioplástico que se comercializó bajo el nombre de "Biopol", que consistía en un copolímero de monómeros de cuatro y cinco carbonos, denominados hidroxibutirato e hidroxivalerato. A pesar de su costo relativamente elevado, el "Biopol" fue utilizado en varias aplicaciones en algunos países como Alemania. A finales del siglo XX el precio del petróleo disminuyó, y de la misma manera decayó el interés por los bioplásticos (Yu et al. 2006; Mohanty et al, 2005; Almeida et al, 2003).

El material de ICI fue el primero en comercializarse y de manera simultánea existieron diversas investigaciones de este tipo de materiales que continuaron el desarrollo. Los materiales de envase con un origen biológico han sido divididos en tres tipos, reflejando su desarrollo histórico (Robertson, 2006). Las tres generaciones son descritas

brevemente a continuación (tomando como base lo publicado por Robertson, 2006; Becerra, 2001; Arjona y Martin, 1997):

#### MATERIAL DE RELLENO. PRIMERA GENERACIÓN

Los primeros plásticos biodegradable se desarrollaron la técnica de extrusión, mezclando almidón nativo (5-20%), aditivos prooxidativos y autooxidativos, con el polímero sintético. Bajo esta técnica ya se comercializan en la actualidad varias marcas, contando con varias películas a nivel comercial empleando mezclas de polietileno de baja densidad con el almidón extraídos de de diferentes fuentes (maíz, arroz, papa y tapioca, principalmente).

Los gránulos de almidón son dispersados uniformemente en el polímero sintético, mediante mecanismos de mezcla física sin interacción química. La biodegradación del almidón inducida por enzimas reduce las propiedades mecánicas del material e incrementa la interface entre el polímero y las condiciones atmosféricas (oxígeno, vapor de agua etc.). La degradación mecánica más accesible es la fase sintética. La baja compatibilidad almidón/polietileno debilita las propiedades mecánicas del polietileno limitando el porcentaje de almidón que puede ser adicionado y sus propiedades funcionales como material de envase. Esta compatibilidad ha sido mejorada por sinilización del almidón incrementando así su hidrofobicidad y aumentado la compatibilidad entre el biopolímero y el polímero sintético por disminución de la hidrofiliidad de la superficie de los gránulos de almidón.

La película así formada puede entonces contener altos porcentajes de almidón. Existe una controversia en la relación a la biodegradabilidad de estos materiales. En realidad su procesamiento de reincorporación en el medio ambiente se conoce bajo el nombre de **biofragmentación**. Toma de 3 a 5 años degradar estos productos en los rellenos sanitarios.

#### MATERIAL COMPUESTO. SEGUNDA GENERACIÓN.

Esta generación se desarrolla de igual forma que la anterior tomando como base el almidón, pero con variaciones en la técnica. En esta técnica, se puede hacer una

mezcla molecular fina de polímeros sintéticos y polímeros de almidón gelatinizado pudiendo contener niveles más altos de almidón en la mezcla final. La gelatinización provoca la destrucción de los gránulos de almidón por medio de una hidrólisis a temperatura ambiente en medio básico con amoníaco o ácido clorhídrico, o simplemente en presencia de agua a temperaturas elevadas.

Estos materiales compuestos han sido fabricados a partir de polímeros hidrofóbicos sintéticos en presencia de otros aditivos que actúan como agentes compatibles entre la interfase del almidón y del polímero sintético. Así la presencia del almidón en la red compuesta no es restrictivo para la fase dispersa si no que es capaz de interactuar con el polímero sintético.

Entre los polímeros sintéticos que han sido empleados se pueden citar los siguientes: polietileno en mezcla con el poli (ácido acrílico), poli (alcohol vinílico), polímeros de éster acrílico, poli (alcohol vinílico) y acetato de vinilo; Los cuales conforman una de las fases y la segunda es el almidón gelatinizado.

La amplia biodegradabilidad tan publicitada por los productores es todavía tema de discusión, realmente han sido publicadas pocas pruebas estándar, estrictamente controladas y comparativas sobre la biodegradabilidad. La completa degradación del almidón toma 40 días y la degradación de toda la película requiere un mínimo de 2 a 3 años, comparado con 200 años estimados para la degradación total de polímeros sintéticos.

#### MATERIALES DE ORIGEN BIOTECNOLÓGICO. TERCERA GENERACIÓN.

Los poliésteres son teóricamente degradables ya que la unión tipo éster entre las cadenas de polímeros son puntos potenciales de hidrólisis química o enzimática (microbiana). Los poliésteres son excretados o almacenados por microorganismos. Almidones hidrolizados son generalmente utilizados como sustrato en los fermentadores del alimento para ganado, y bajo condiciones de restricción metabólica, los microorganismos llegan a producir metabolitos secundarios en forma de polímeros tipo poliésteres.

Los costos de almacenamiento y purificación son muy altos para los productos que son obtenidos de mezclas complejas. Estos materiales son completamente biodegradables y reciclables. El poli (hidroxibutirato-valerato) (PHB/PHV), es un poliéster sintetizado por *Alcaligenes eutrophus* (cepa). El rendimiento para la conversión del azúcar y formar el biopolímero es de cerca del 33%. El PHBV tiene un comportamiento de resina termoplástico y puede ser procesado y termoformado por las mismas técnicas usadas con los polímeros sintéticos, el PHV o policaprolactona actúa como plastificante que mejora la flexibilidad del PHB. El poli (ácido láctico) y poli (ácido glicólico), respectivamente son producidos por medio de la polimerización química del ácido láctico y ácido glicólico obtenidos por fermentación de carbohidratos realizada por *Lactobacillus* a partir de sacarosa, glucosa, maltosa y lactosa. Las policaprolactonas y quitosanos combinados con celulosa son usados en muy pequeña extensión en materiales de envase (Robertson, 2006; Becerra, 2001; Arjona y Martin, 1997).

La tercera generación consiste en materiales de origen biológico completamente biodegradables y son clasificados en tres grupos de acuerdo al método de producción, los tres grupos son presentados en la siguiente sección “clasificaciones y definiciones”, y corresponde a la clasificación de acuerdo a su origen y producción.

## ***3.2 CLASIFICACIONES Y DEFINICIONES***

---

### ***3.2.1 Clasificación de los biopolímeros***

---

Mencionamos anteriormente la existencia de numerosas clasificaciones aplicadas a los polímeros. Cada una de estas clasificaciones fueron desarrolladas para poder explicar de manera adecuada los diferentes materiales de acuerdo a las necesidades de científicos, expertos y personas dedicadas a la industria de los materiales poliméricos.

En biopolímeros existen también a su vez diferentes clasificaciones, las cuales expondremos más adelante. Si bien las clasificaciones tradicionales usadas en polímeros sintéticos pueden ser ocupadas en este nuevo tipo de materiales, es

necesario el desarrollo de clasificaciones más específicas para este campo del conocimiento que complementen las ya existentes.

### **Clasificación de acuerdo a su origen y método de producción**

La clasificación más sencilla utilizada en polímeros es la que se refiere a su origen, es decir los clasifica de forma general en dos grandes grupos: sintéticos y naturales.

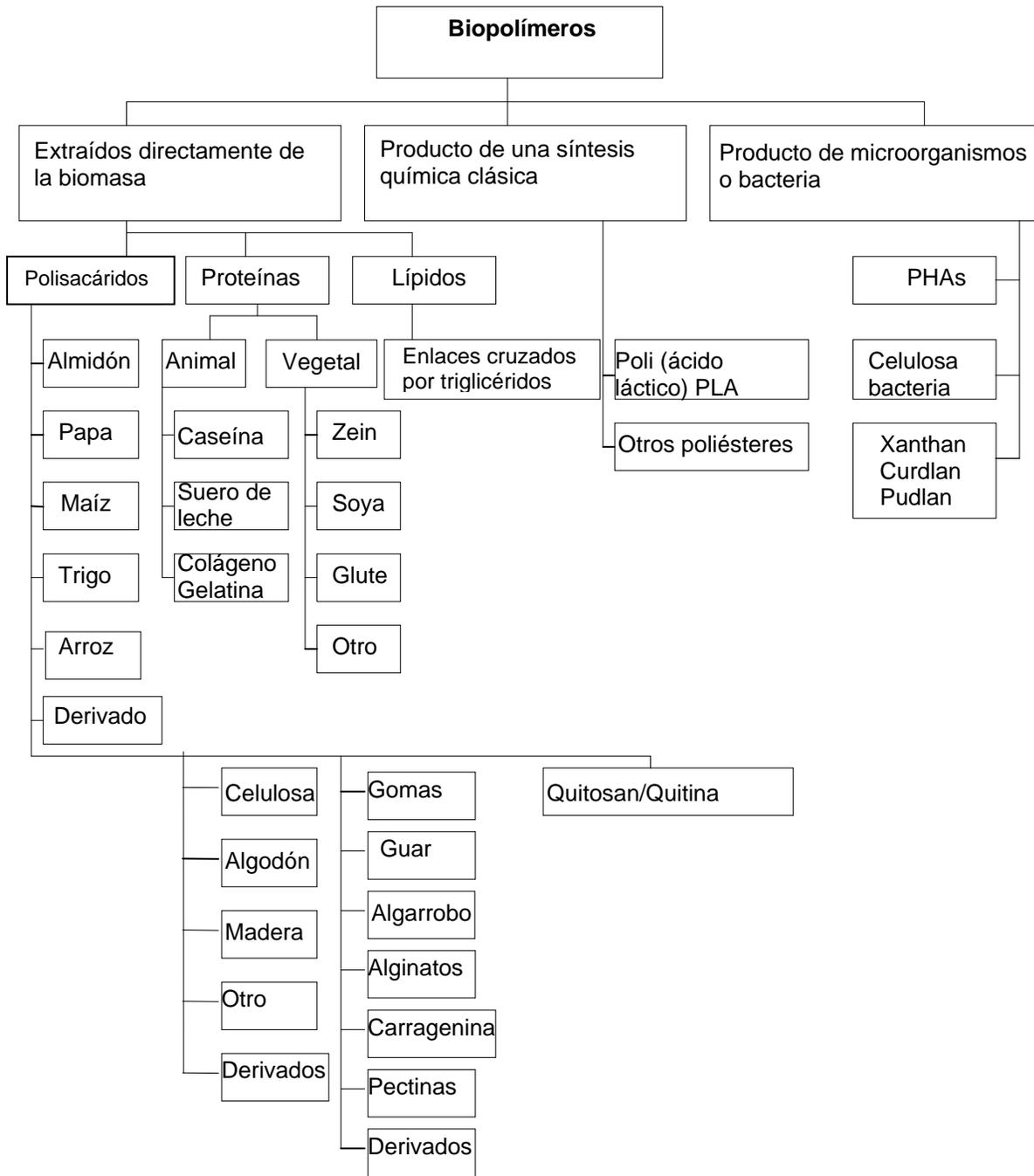
Generalmente, los polímeros de fuentes renovables (PFRR, por sus siglas en inglés polymers from renewable resources), o biopolímeros, pueden ser clasificados en tres grupos, los cuales corresponden a la tercera generación (Robertson, 2006):

1. Polímeros naturales, tales como el almidón, proteínas y la celulosa.
  2. Polímeros sintéticos de monómeros naturales, tales como el ácido poliláctico (PLA); y
  3. Polímeros de fermentación microbiana, tales como el polihidroxibutirato (PHB).
- (Las tres categorías son presentadas de manera esquemática en la figura 3.1.)

Esta clasificación es mencionada por Yu et al. en 2006 y Robertson en 2006 de manera breve pero clara (es posible que otros autores también la mencionen); no obstante, ya había sido presentado un esquema (figura 3.1) que hace referencia a ésta en el reporte de “Production and application of biobased materials for the food industry” como resultado del Proyecto de bioenvase alimentario de la Doceava junta directiva de la Unión Europea en el 2000 teniendo como autor a Tuil et al; este mismo esquema también es publicado por Haugaard y Mortensen en el 2003.

El propósito general de presentar esta descripción es comparar los biopolímeros con los plásticos convencionales derivados del petróleo, donde los biopolímeros tienen una mayor diversidad química y arquitectónica de las cadenas, dando a los científicos de materiales posibilidades únicas para adaptar las propiedades del envase final. En el siguiente cuadro (Figura 3.1), Haugaard y Tuil presentan en un organigrama a la mayoría de los polímeros provenientes de fuentes renovables comunes (Haugaard y Mortensen, 2003; Tuil et al, 2000).

Figura: 3.1 Clasificación esquemática de los biopolímeros basados en su origen y método de producción.



Fuente: Tuil et al, 2000; Haugaard y Mortensen, 2003.

### Clasificación de acuerdo al mecanismo de degradación

Los biopolímeros se han clasificado en dos maneras distintas: por su mecanismo de degradación y por su origen o producción. Por su mecanismo de degradación, éstos pueden ordenarse a través de la clasificación tradicional para biodegradación de

polímeros, además incluye el mecanismo biodigerible, ya que muchos de éstos han sido construidos con esta propiedad.

Tabla 3.2: Mecanismo de degradación de los biopolímeros.

Biodegradables	Se degradan por acción de microorganismos como son: bacterias, hongos y algas, entre otros.
Fotodegradables	Se degradan por la acción de los rayos solares en el polímero.
Biodeteriorables	Se degradan por la acción de los macroorganismos como insectos, gusanos, etc.
Autoxidantes	Se degradan por la reacción química del oxígeno.
Hidrolizables	Se degradan por la acción del agua sobre el plástico, resultando una disminución del peso molecular y pérdida de propiedades físicas.
Solubles	Se degradan por la disolución de los polímeros, que ocurre cuando se incluyen enlaces solubles dentro de la estructura de el polímero.
Biodigeribles	Se degradan mediante el proceso de ingestión – digestión – desecho.

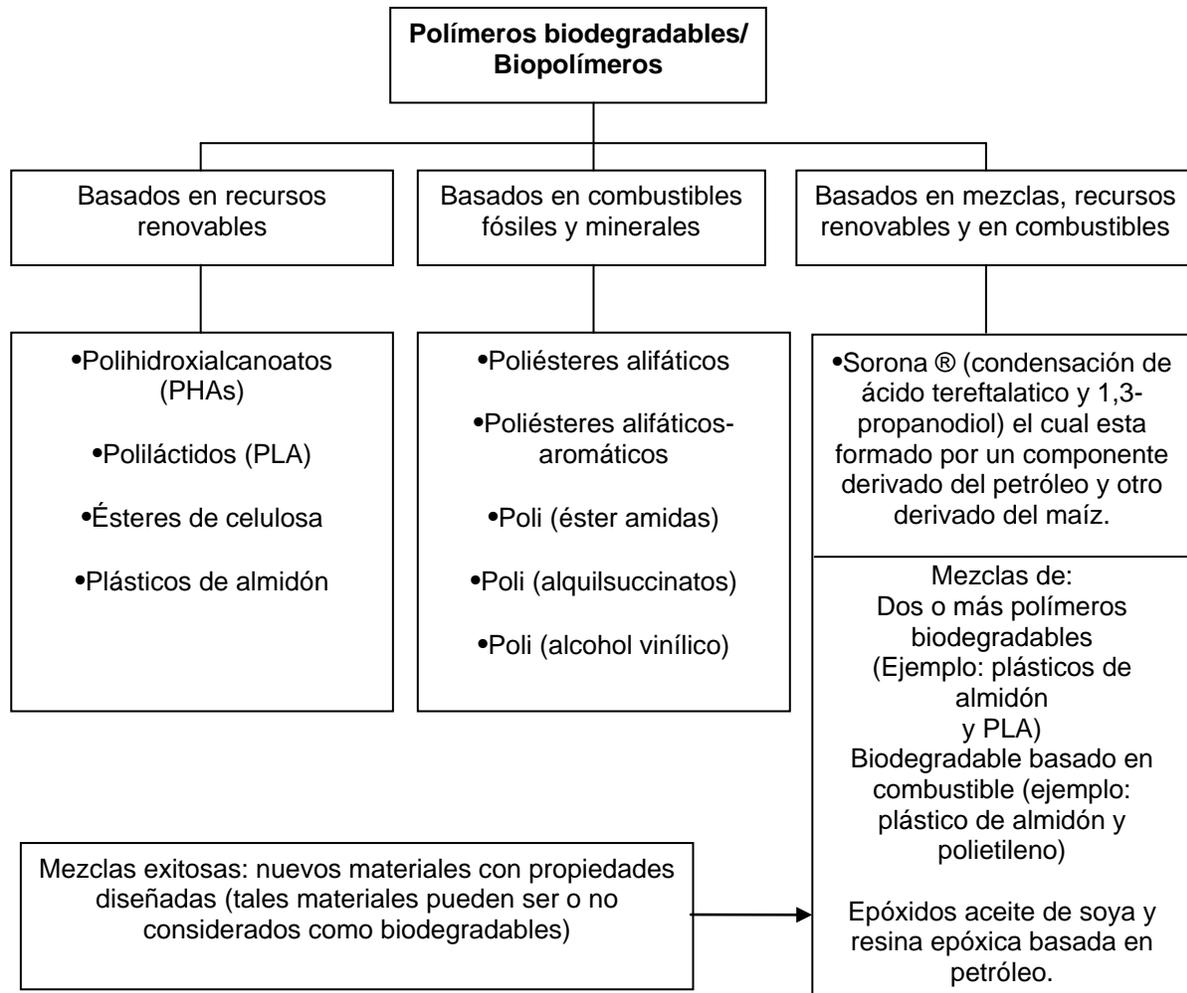
Fuente: Randall, 1991.

### **Clasificación de acuerdo al origen y mecanismo de degradación**

Los polímeros de fuentes renovables pueden o no ser biodegradables, dependiendo de su composición y estructura así como el ambiente en el que éstos estén localizados. Por otra parte también los polímeros sintéticos pueden a pesar de su origen en materiales fósiles o minerales presentar propiedades de biodegradación La clasificación de los polímeros biodegradables y de los biopolímeros está presentada en la figura 3.2.

Esta clasificación integra el origen del material; ya sea sintético o natural, el método de producción y el mecanismo de degradación.

Figura 3.2: Clasificación general de los polímeros biodegradables y de los biopolímeros



Fuente: Mohanty et al, 2005.

### 3.2.2 Definiciones

#### Polímeros de fuentes renovables (Biopolímeros)

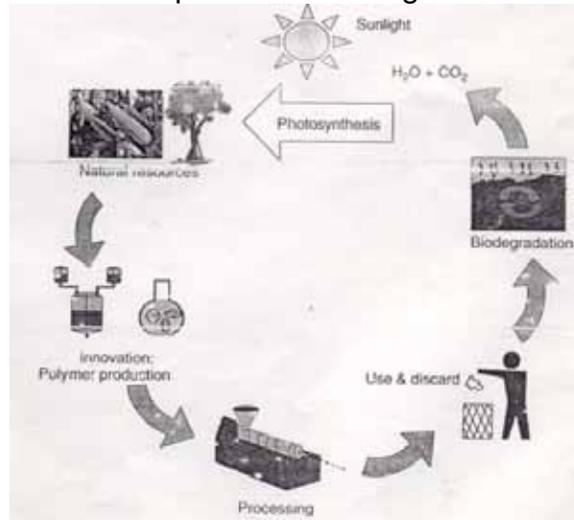
Los biopolímeros corresponden a los tres grupos descritos en “clasificación de acuerdo a su origen y producción”.

#### Polímeros biodegradables, biodegradabilidad (Mohanty et al. 2005).

Los polímeros biodegradables pueden ser definidos como aquellos que experimentan por inducción microbiológica una ruptura de la cadena principal por fotodegradación, oxidación, e hidrólisis; estas modificaciones pueden cambiar al polímero durante el proceso de degradación. Otra definición establece que los polímeros biodegradables

son aquellos capaces de experimentar la descomposición primaria a través de la acción enzimática de los microorganismos para transformarlos en dióxido de carbono, metano, compuestos inorgánicos, o biomasa en un periodo específico de tiempo. Los polímeros biodegradables pueden ser obtenidos de fuentes renovables o no renovables (petróleo). El ciclo de los polímeros biodegradables compostables es representado en la figura 3.3; este ciclo puede mantener el balance del CO<sub>2</sub> en el medio ambiente.

Figura 3.3: Ciclo de los polímeros biodegradables compostables.



Fuente: Mohanty et al, 2005.

La biodegradabilidad no es únicamente una función del origen sino también de la estructura química y del ambiente de degradación. Algunas veces las resinas termoestables, aún cuando estén hechas o se deriven de fuentes renovables, pueden no ser biodegradables. El PLA así como también el PHB son biopoliésteres derivados de fuentes renovables; en contraste, el PCL, PBS y los poliésteres alifático-aromáticos, los cuales son derivados de compuestos del petróleo, son materiales también biodegradables. Los poliésteres alifáticos son fácilmente biodegradables, mientras que los poliésteres aromáticos como el poli (tereftalato de etilo) (PET) no son biodegradables. Sin embargo, los copoliésteres alifáticos-aromáticos resultan biodegradables, y recientemente estos poliésteres han ganado interés comercial, especialmente para las aplicaciones de envasado (Mohanty et al, 2005).

### **Compostabilidad (Degli-Innocenti, 2000).**

Los materiales compostables deben de tener cuatro características principales:

1. Biodegradabilidad, esta es la conversión metabólica del material de envase a dióxido de carbono.
2. Desintegrabilidad, significa la fragmentación y pérdida de la visibilidad en la composta final del material tratado (Ausencia de contaminación visual).
3. Ausencia de efectos negativos en el proceso de composta.
4. Ausencia de efectos negativos en la composta final (por ejemplo, reducción del valor agrícola y presencia de efectos ecotóxicos en el crecimiento de las plantas).

Los términos biodegradabilidad, materiales biodegradables y compostabilidad son muy comunes pero también frecuentemente son mezclados y mal empleados, provocando malos entendidos. La solubilidad en agua es frecuentemente considerada como un sinónimo de biodegradabilidad, y biodegradabilidad como sinónimo de compostabilidad. El término biodegradable por sí mismo no es útil, es una apreciación general que, reconoce que al menos en la biosfera existe una enzima que puede acelerar la rapidez de rompimiento de los enlaces químicos presentes en la cadena del polímero. Notablemente, esto no asegura que un material biodegradable siempre será degradado. En efecto, la degradación no ocurrirá en un medio ambiente desfavorable o bien el material biodegradable no será degradado en un corto tiempo. Sin duda el término "biodegradable" no es aplicable en procesos rápidos. Por lo tanto, es importante acompañar el término biodegradable con la especificación particular del medio ambiente donde se espera que la biodegradación ocurra, y el tiempo que tomará el proceso.

En años recientes la atención de los grupos de estandarización que trabajan en estas áreas se ha enfocado principalmente en la definición de compostabilidad de los materiales sólidos hechos por el hombre, por el hecho de que la composta es preferida en el sistema de tratamiento de la fracción de residuos orgánicos de los residuos sólidos, donde los materiales biodegradables/compostables supuestamente terminarán.

Se ha especificado que la composta de basura de envases es una forma de reciclado, propiamente por el hecho de que el producto original, el envase, es transformado en un nuevo producto, la composta (Degli-Innocenti, 2000).

**Compostabilidad y biometanización (Degli-Innocenti, 2000).**

El tratamiento biológico puede ser aerobio (compostabilidad) o anaerobio (biometanización). La compostabilidad conduce a la transformación de la basura en dióxido de carbono liberado a la atmósfera, agua y composta, útil para procesos agrícolas. La biometanización conduce a la formación de biogás (metano y dióxido de carbono) y sedimento. El sedimento anaeróbico es transformado en composta por un paso subsecuente de compostabilidad. Por esta razón, el término “composta” es usado como sinónimo del tratamiento sólidos de residuos para ambos procesos, aerobio y anaerobio (Degli-Innocenti, 2000).

### ***3.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL USO DE BIOPOLÍMEROS***

---

Dentro de la literatura científica se encuentran diferentes factores que motivan el uso general de biopolímeros, en cualquiera de las áreas de aplicación. De los que a continuación se hace mención, los dos primeros corresponden a los que principalmente se recurre para fundamentar la investigación y desarrollo de este tipo de materiales.

#### **Disminución del petróleo**

Si bien la crisis energética del siglo pasado fue una razón que presionó para la investigación en biopolímeros, la disminución del precio del petróleo ocasionó también una desaceleración del desarrollo. En los últimos años esta tendencia se ha revertido. Además de producirse un aumento en el precio del petróleo, se ha tomado mayor conciencia de que las reservas se están agotando de manera alarmante. Las estimaciones varían mucho, ya que la información que suministran los países que tienen reservas de petróleo no siempre es confiable, pero lo más probable es que comiencen a agotarse en las próximas décadas. Ante esta perspectiva, las investigaciones que involucran a los plásticos obtenidos de otras fuentes han tomado un nuevo impulso (De Almeida et al, 2003).

#### **Daño ecológico**

El segundo factor que influye en el uso de los biopolímeros es el daño ecológico causado por los polímeros convencionales. La persistencia de los plásticos en el medio ambiente, la corta vida de los rellenos sanitarios, las emisiones concernientes a la

incineración y los peligros por la ingestión de estos materiales han impulsado los esfuerzos para desarrollar plásticos biodegradables.

La disminución de los recursos del petróleo acompañada del incremento de regulaciones ambientales está actuando sinérgicamente para proveer el ímpetu para nuevos materiales y productos que son compatibles con el medio ambiente independientemente de los combustibles fósiles (Mohanty et al. 2005).

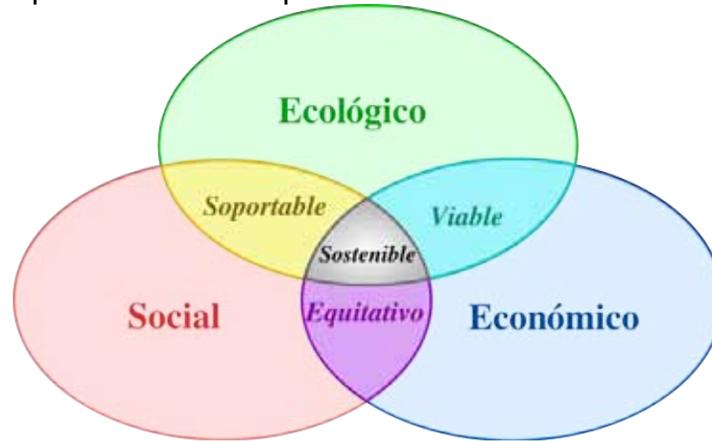
### **Desarrollo sustentable**

Si bien los dos factores antes mencionados son relevantes; es importante reconocer que el primero ha sido crucial pues afecta directamente los precios de producción, y por consiguiente, las utilidades de los productores; se busca producir sin importar el medio ambiente. La combinación de estos factores ocasiona la aparición de un tercero, posiblemente obvio, y tiene que ver directamente con el desarrollo sustentable.

Hay numerosas definiciones de “desarrollo sustentable” pero la más frecuentemente citada es la que hizo la Comisión de Brundtland. Ésta define al desarrollo sustentable como “el desarrollo que conoce las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”. Basados en esto, hay actualmente la consecuencia en la que el desarrollo sustentable debe incluir al menos: el medio ambiente, la economía y las dimensiones sociales (United Nations, 1987; Patel y Narayan, 2005).

Hasta el momento hay evidencia suficiente para indicar que los diferentes productos elaborados a partir de plástico no han tenido un desarrollo sustentable. Esto ocurre porque los materiales no cierran correctamente el ciclo afectando de esta forma el medio ambiente y su consumo debido a que son baratos, tanto para el productor como para el consumidor; el productor no está dispuesto a sacrificar utilidades y el consumidor no está dispuesto a pagar más; aún a sabiendas que dichos materiales los perjudicarán en un determinado periodo de tiempo.

Figura: 3.4: Esquema de los tres pilares del desarrollo sustentable (sostenible)



Fuente: Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Comisión Brundtland), United Nations, 1987

### **Tecnología (Weber, 2000)**

Si bien hemos explicado el reto que representa el reciclado de plásticos, la reducción y la reutilización (3Rs) que podrían apoyar a estabilizar el consumo de los mismos. La educación social y la tecnología juegan un papel primordial en este rubro de los cuales depende el éxito de las diferentes políticas públicas de gestión de residuos, particularmente en los que se emplean polímeros.

La tecnología para el reciclado presenta aun diferentes áreas de oportunidades en las que se tiene que poner especial interés para poderlas hacer más asequibles a nuestra realidad. Las diferentes empresas prefieren emplear nuevos materiales a reciclarlos debido a los costos que representa el reciclado.

El área de envases de origen plástico (donde el reciclado podría tener una mayor aplicación debido a que el tiempo de uso en el que se emplean es significativamente menor si los comparamos a su aplicación en construcción, autopartes o electrodomésticos); se ve dificultada por la recuperación de los materiales después de que han cumplido su cometido.

Los residuos sólidos municipales, y en particular los envases de plástico empleados dentro de la industria de alimentos, son difíciles de tratar debido a que consisten en

diversas fracciones y tipos de plástico, los cuales están altamente contaminados de residuos alimenticios, resultando en un consumo elevado de energía y trabajo para poder ser reciclados (Weber, 2000).

### **Integración de factores (Mohanty et al., 2005)**

Como un resultado de la creciente advertencia de la interconexión de los factores ambientales globales, los principios de sustentabilidad, industria ecológica, ecoeficiencia, y la química e ingeniería verde, están siendo integrados en el desarrollo de la próxima generación de materiales, productos y procesos. La disminución de los recursos petroleros, acompañada del incremento en las regulaciones ambientales, están actuando sinérgicamente para proveer el ímpetu por nuevos materiales y productos que sean compatibles con el medio ambiente, e independientes de los combustibles fósiles.

Esta nueva generación de productos de polímeros de origen biológico está basada, en las existencias agrícolas renovables y forma la base para un portafolio de sustentabilidad, y de productos ecoeficientes que puedan competir en mercados actualmente dominados por productos basados en el petróleo, en aplicaciones tales como envase, autopartes, productos de construcción, muebles y bienes de consumo.

Tanto factores ambientales como económicos están ahora conduciendo la tendencia hacia usos más grandes de los polímeros y materiales de origen biológico. El desafío de los científicos e ingenieros es desarrollar la tecnología necesaria para hacer la revolución de los materiales de origen biológico una realidad.

El desafío de reemplazar los plásticos convencionales con materiales biodegradables es diseñar materiales que exhiban estabilidad estructural y funcional durante el almacenamiento y uso, que sean susceptibles a la degradación microbiológica y ambiental únicamente hasta que sean desechados y sin algún cambio significativo en el medio ambiente.

Los materiales poliméricos de fuentes renovables ofrecen una respuesta para mantener el desarrollo sustentable de la tecnología atractiva, ecológica y económica. Las innovaciones en el desarrollo de los biopolímeros, la preservación de los materiales basados en el petróleo, la degradabilidad biológica completa, la reducción en el volumen de la basura y la compostabilidad, la reducción del dióxido de carbono liberado, así como también el incremento de la utilización de los recursos agrícolas para la producción de los nuevos materiales “verdes” son algunas de las razones por las que se incrementa el interés público. Los polímeros biodegradables han ofrecido a los científicos una posible solución a los problemas de la disposición de la basura asociados a los plásticos tradicionales basados en los recursos petroleros.

Los plásticos tradicionales como el polipropileno, polietileno y poliéstereno tienen un desarrollo histórico y han alcanzado un estatus adecuado en las diversas aplicaciones. Los diferentes polímeros biodegradables necesitan ser desarrollados para hacerlos sustentables además de como matrices poliméricas para aplicarlos como compuestos.

Originalmente los biopolímeros fueron pensados para ser usados en envase, agricultura y otras industrias con requerimientos menos fuertes. Las limitaciones y el alto costo de los biopolímeros son barreras de importancia para su aceptación general como sustitutos de los polímeros tradicionales no biodegradables (Mohanty et al, 2005).

# CAPITULO CUATRO

## BIOENVASE.

---

### *4.1 BIOENVASE*

---

#### *4.1.1 Definición*

---

El bioenvase ha sido definido como aquel que ha sido elaborado con materiales basados en fuentes biológicas y estos materiales a su vez son derivados de fuentes que son renovables anualmente, de tal forma que se excluyen los materiales basados en la celulosa proveniente de los arboles; ya que estos tienen un tiempo de renovación de 25 a 65 años dependiendo de la especie y del medio ambiente donde se cultive (Robertson, 2006).

#### *4.1.2 Integración del bioenvase en la vida actual (Fedorak, 2005)*

---

Debido a que en el mercado europeo actualmente conviven envases tradicionales con los novedosos envases elaborados de biopolímeros se ha tenido que desarrollar un logotipo que conviva con el ya existente triangulo de flechas que ayuda a identificar a las empresas recicladoras el plástico con el que se elaboran los envases tradicionales (Fedorak, 2005). Dicho logotipo no indica el material con el que se elabora el envase sino que hace referencia a la compostabilidad como el proceso en el que participara el envase al momento de ser desechado (Figura 4.1).

Figura 4.1: Logotipo de la compostabilidad.



Fuente: Fedorak, 2005.

Plásticos y polímeros biodegradables se complementan unos a otros; pero hay que reconocer que los polímeros biodegradables perjudican a los plásticos en el momento del reciclado, contaminando el producto final; razón por la que no pueden ser mezclados y se tiene que indicar si un envase está elaborado con biopolímeros.

El desecho de los polímeros biodegradables es más apropiado gracias a la compostabilidad de los mismos; pero este sistema necesita de una infraestructura, además de un sistema eficiente recolección y compostaje. Alemania ha invertido en la infraestructura para el compostaje y un 60% de los hogares en el país cuentan con un bote de basura orgánica que es recolectada especialmente para ser sometida a un proceso de compostaje. Han demostrado en estudios pilotos en comunidades específicas de Alemania que es posible conectar el envase biodegradable con la composta (Fedorak; 2005).

#### *4.1.3 Características a considerar en el bioenvase*

---

Los materiales basados en fuentes renovables deben reunir los criterios que se aplican a los materiales de envase convencionales asociados con los alimentos. Estos relacionan las propiedades de barrera (agua, luz, gases, aroma), propiedades ópticas (transparencia), resistencia, propiedades de sellado y moldeado, propiedades de impresión y marcado, requerimientos de migración, propiedades de resistencia química y temperatura, requerimientos de desecho, propiedades antiestáticas así como temas relacionados con naturaleza amistosa para el usuario de los materiales, con la competitividad y el precio. Los materiales de envase de origen biológico también deben cumplir con la legislación de alimentos y de envases, además de las interacciones entre el alimento y el material de envase los cuales no deben comprometer la calidad del alimento o la seguridad.

En resumen, las características intrínsecas de los materiales de envase, pueden motivar a los materiales biodegradables o comestibles para ser usados en alimentos (Haugaard et al, 2000).

#### *4.1.4 Bioenvase. Demandas de la calidad de los alimentos (Petersen et al, 1999).*

---

Definir los requerimientos de los envases en términos de mantener la calidad del alimento depende de cómo sea la calidad del alimento definida. Los factores que contribuyen a la percepción del consumidor de la calidad del alimento incluyen atributos sensoriales (apariciencia, sabor, textura), contenido nutricional, relacionados con la seguridad (microorganismos, residuos), asuntos éticos (métodos humanitarios de producción) y el precio del alimento. En la medida que los materiales de envase de fuentes renovables impacten estos atributos, estos impactarán la calidad del alimento.

La disminución de los atributos sensoriales, el contenido nutricional y la seguridad de los alimentos es causada principalmente por los cambios físicos y químicos en el alimento durante el almacenamiento y por las alteraciones microbianas. El envase de fuentes renovables, como el envase convencional, deben minimizar estos cambios de deterioro en los productos alimentarios. Los cambios químicos en los alimentos, son los causantes principales del deterioro de la calidad del alimento, incluidas las reacciones de oscurecimiento (no enzimáticas y enzimáticas), hidrólisis de lípidos y proteínas, oxidación de lípidos y proteínas y cambios glucolíticos (ver tabla 4.1). Para controlar estas reacciones químicas los biomateriales para envasado deben de tener la capacidad de controlar uno o más de los siguientes aspectos: la atmósfera gaseosa que rodea a los alimentos (oxígeno, dióxido de carbono y nitrógeno), actividad acuosa, luz y temperatura.

El deterioro en el alimento acompañado del crecimiento microbiano pueden ser afectados por la habilidad de los biomateriales de envasado para controlar factores tales como la actividad del agua, pH y migración de nutrientes. En suma, para minimizar los cambios de deterioro originados por los sustratos originales dentro o en la superficie de los productos alimenticios, los materiales para envasado de alimentos se benefician o se perjudican de las condiciones externas. Los productos alimenticios pueden necesitar protección para la degradación por microorganismos de otras fuentes o del ablandamiento o endurecimiento como resultado de un manejo pobre (Petersen et al, 1999).

Tabla 4.1: Características del envase para evitar cambios de deterioro en el alimento.

<b>Cambio degradacional</b>	<b>Propiedades preventivas del envase</b>
<b>Químicos</b> Rancidez (Oxidación) Reacciones de oscurecimiento Degradación de grasas (lipólisis) Degradación de proteínas (proteólisis)	Barrera al oxígeno Barrera a la luz Barrera a la humedad
<b>Microbiológicos</b> Crecimiento de microorganismos	Barrera al oxígeno Ninguna/baja atmósferas de oxígeno Absorción de oxígeno Emisores de dióxido de carbono Barrera a humedad Migración de agentes antimicrobianos del envase
<b>Físicos</b> Cambio de textura (ablandamiento, endurecimiento) Aplastamiento, magulladuras del alimento.	Barrera a humedad Control de cambios químicos y microbiológicos Estabilidad del envase Envase robusto

Fuente: Haugaard et al, 2000.

Los cambios físicos asociados con el deterioro de la calidad del alimento incluyen el ablandamiento, endurecimiento, pérdida de la capacidad de retención de agua, rompimiento de la emulsión, dilatación/encogimiento, y aplastamiento (Petersen et al. 1999). Los cambios físicos que resultan en la absorción de agua pueden prevenirse por la migración controlada de la humedad dentro del alimento o entre los diferentes componentes del alimento. Los cambios físicos y químicos no pueden ocurrir independientemente el uno del otro, controlar las reacciones químicas y el deterioro microbiano con los biomateriales de envase puede contribuir también a la estabilidad física.

#### ***4.1.5 El remplazo de los materiales de envase convencionales de alimentos con materiales de origen biológico. Un desafío (Haugaard et al., 2000)***

Uno de los desafíos que enfrenta la industria del envase de alimentos en producir envases basados en fuentes renovables, es combinar la durabilidad del envase con la vida de anaquel del producto. Los materiales basados en fuentes renovables deben mantener estables sus propiedades mecánicas y/o de barrera y funcionar

adecuadamente durante el almacenamiento de los alimentos. Idealmente, los materiales deben biodegradarse eficientemente cuando son desechados. De esta manera, las condiciones del medio ambiente que propician la biodegradación deben ser evitadas durante el almacenamiento de los productos alimenticios mientras que las condiciones para la biodegradación deben de existir después del momento de desecho. Esta situación presenta un interesante desafío para el diseño y uso de materiales de envase de origen biológico a partir de varios factores que afectan la biodegradación (la actividad del agua, la presencia de microorganismos, temperatura y la composición del biomaterial, entre otros) también afectan la tasa de deterioro del alimento envasado. En el caso de las películas comestibles, estas para funcionar como envases deben de prever la barrera a la humedad o a los gases, mientras que el alimento esta almacenado, estas deben de ser parte del alimento hasta el punto de consumo.

Como los envases convencionales, los envases de fuentes renovables pueden necesitar proveer a los consumidores la información obligatoria del producto, instrucciones de cocinado, recetas, entre otras. Estos requerimientos adicionales proveen más desafíos para las aplicaciones de los bioenvases. Por ejemplo, se puede requerir de nueva tecnología para proveer información etiquetada en los envases biodegradables. De esta manera adhesivos biodegradables y/o comestibles, etiquetas o tintas y solventes necesarios tendrán que ser considerados (Haugaard et al, 2000).

#### *4.1.6 Materiales con mayor potencial de aplicación en bioenvase*

No todos los materiales biodegradables son sustentables para la producción de películas biodegradables. Aunque hay un rápido desarrollo en las áreas de manufactura y mercadotecnia de materiales biodegradables sólo existen tres grupos de polímeros degradables provenientes de fuentes renovables de gran importancia comercial que están disponibles, de los cuales las películas biodegradables pueden ser producidas e identificadas dentro de las categorías principales: 1) Poli (lactidos), (PLA), 2) polímeros de polihidroxibutirato (PHB), y 3) polímeros basados en el almidón (Briassoulis, 2004; Bastioli et al., 2000; Helén et al., 2000).

Dentro de la categoría de los polímeros degradables no provenientes de recursos naturales, sino de fuentes basadas en el petróleo, se han desarrollado películas comerciales a partir de biopolíesteres (por ejemplo, Eastar) o de mezclas de almidón-PCL. Por supuesto, otros materiales biodegradables han sido desarrollados para la producción de películas (por ejemplo; mezclas de proteínas de soya y poliésteres biodegradables, entre otros). Los esfuerzos intensivos actuales de investigación alrededor del mundo apuntan al desarrollo de pruebas de laboratorio de innovaciones de materiales biodegradables o el mejoramiento de los materiales disponibles, algunos de los cuales pueden ser ocupados como películas agrícolas biodegradables (Ver sección 4.4.1 de este trabajo) (Briassoulis, 2004).

Las aplicaciones de los biopolímeros están en crecimiento en áreas relacionadas con los alimentos y envase. Hoy en día se encuentran disponibles en el mercado biopolímeros que son biodegradables, tales como: polímeros de ácido láctico (PLA) de la empresa Natureworks™ (Cargill Dow LLC). Natureworks™ esta produciendo 300 millones de libras de PLA anualmente con aplicación en envasado y en fibras. Procter & Gamble (P&G) ha producido un copoliéster alifático (Nodax), consiste en una línea de productos que son biodegradables en condiciones aerobias y anaerobias. Los polímeros Nodax son producidos por microorganismos por medio de un proceso de fermentación, y el plástico es extraído de la biomasa. Similar a Nodax, Eastman Chemical Company ha desarrollado Eastar Bio un copoliéster alifático y es usado en bolsas para jardinería, envase de alimento y también se usa en horticultura. Du Pont tiene un producción de 200 millones de libras anuales en Tennessee por su producto Biomax, consiste en un copolimero de poli (tereftalato de etilo) y un poliéster biodegradable (Kale et al., 2006).

Existen muchos biopolímeros aplicados en envasado de alimentos; pero en este trabajo hablaremos de dos: 1) polímeros de ácido láctico (PLA), y 2) polímeros de hidroxialcanoatos (PHAs). Esta selección se hace tomando en cuenta en que estos materiales son producidos a partir de fuentes renovables, han tenido o tienen presencia en el mercado y el envase desarrollado proporciona una mayor estabilidad en el medio ambiente (e inestable bajo ciertas condiciones).

## ***4.2 POLÍMEROS DE ÁCIDO LÁCTICO (PLA)***

---

### ***4.2.1 Generalidades***

---

El ácido láctico es un ácido orgánico que se encuentra en muchos productos de origen natural. Los primeros reportes del aislamiento del ácido láctico a partir de la leche ocurrieron en 1780 por Sheele, y Pasteur descubrió que los microorganismos son los agentes reponsables de la acidificación de la leche. La precipitación y esterificación ocurrió pocos años después. La formación del dimero a partir de la condensación del ácido láctico fue reportada por Carothers et al. en 1932 (Sodergar y Stolt, 2002; Serna et al., 2003c)

Los polímeros basados en unidades láctidas fue encontrado inestable en condiciones de humedad, y el uso de este tipo de polímeros no fue considerado como relevante hasta después de los años de 1960, cuando las ventajas para ser usado en aplicaciones medicas se hicieron notar. La investigación basada en polímeros basados en ácido láctico (PLA) se ha acelerado para aplicaciones medicas desde hace dos décadas cuando la actividad se incremento a escala industrial en este tipo de polímeros debido a otro tipo de aplicaciones que se han encontrado.

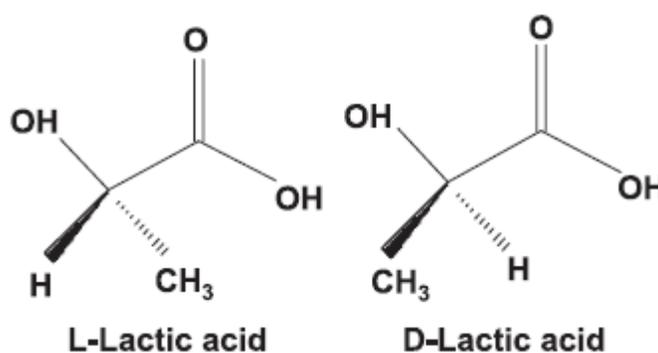
Los polímeros basados en ácido láctico previamente han sido incluidos en varios artículos de revisión, siendo el primero el publicado por Watson en 1948. Otras revisiones más recientes, por ejemplo discuten sobre diseños moleculares, el uso en aplicaciones medicas y biodegradación, la degradación hidrolítica en varios ambientes, y el uso como biopolímeros y biocompuestos (Sodergar y Stolt, 2002).

El PLA es utilizado para la producción de hilo para sutura, implantes, cápsulas para la liberación lenta de fármacos, prótesis, producción de envases y empaques para alimentos y producción de películas para la protección de cultivos en estadios primarios; este biopolímero ha despertado el interés de investigadores, productores y procesadores ya que fuera de su degradabilidad, se ha encontrado que puede ser un gran competidor frente a otros plásticos de origen petroquímico por su amplio rango inusual de propiedades (Serna et al., 2003; Litchfield 1996).

### 4.2.2 Ácido láctico.

El ácido láctico (ácido 2-hidroxiopropanoico,  $\text{CH}_3\text{-CHOH-COOH}$ ) es el bloque base para la construcción del PLA. Es altamente soluble en agua, contiene un átomo de carbono asimétrico y es el hidroxiácido más sencillo que existe. Hay dos isómeros ópticos, el D(-) láctico y L(+) láctico y una la forma racémica constituida por fracciones equimolares de las formas L(+) y D(-). A diferencia del isómero D(-), la configuración L(+) es metabolizada por el organismo humano (Henton et al., 2005; Serna et al., 2003)

Figura 4.2: Isómeros de ácido láctico.



Fuente: Gupta y Kumart 2007

El ácido láctico es utilizado ampliamente en la industria alimenticia, química, farmacéutica, del plástico, textil, la agricultura, la alimentación animal, entre otros, sin embargo, la aplicación más interesante del ácido láctico radica en la posibilidad que ofrece de producir poli (ácido láctico) (PLA) (Danner et al. 2002).

### Síntesis

El isómero L(+) esta presente en los sistemas mamíferos y es más fácilmente asimilable por los humanos. Pero los enantiómeros L(+) y D (-) existen en sistemas bacterianos. En las bacterias, el ácido láctico es el producto final de la fermentación, formado por la reducción del piruvato con la consecuente regeneración de la reducción de los equivalentes  $\text{NAD}^+$ .

La principal ruta de fermentación en el ácido láctico bacterial es bien conocida y puede ser dividida como homofermentativa y heterofermentativa. La homofermentación

bacterial es catabolizar hexosas a través de la ruta Embden-Meyerhof, en esta ruta se producen 1.8 moles de ácido láctico por cada mol de hexosa, con menores niveles de producción de otros productos, por ejemplo: ácido acético, etanol y dióxido de carbono. Esta conversión tiene un rendimiento alrededor de 90 g de ácido láctico por cada 100 g de hexosa.

La heterofermentación bacterial es aquella en la que se producen menos de 1.8 moles de ácido láctico por cada mol de hexosa, con niveles significativos de otros metabolitos, incluye acetato, glicerol, manitol y dióxido de carbono (Kharas et al., 1994).

El ácido láctico puede ser obtenido por vía química o biotecnológica. La producción química está basada en la reacción de acetaldehído con ácido cianhídrico (HCN) para dar lactonitrilo, el cual puede ser hidrolizado a ácido láctico. Otro tipo de reacción se basa en la reacción a alta presión de acetaldehído con monóxido de carbono y agua en presencia de ácido sulfúrico como catalizador. La síntesis química tiene la desventaja que el ácido láctico producido es una mezcla de D y L ácido láctico ópticamente inactivo (Litchfield 1996).

El método biológico es preferido, esta basado en la fermentación del almidón y otros polisacáridos, los cuales están fácilmente disponibles en el maíz, el betabel, la caña de azúcar, la papa, entre otros (Gupta y Kumar, 2007).

## **Producción industrial**

### **MICROORGANISMOS Y SUSTRATOS UTILIZADOS**

La producción biotecnológica está basada en la fermentación de sustratos ricos en carbohidratos por microorganismos y tiene la ventaja de formar enantiómeros D(+) ó L(+), ópticamente activos. En la producción por fermentación, se busca que los microorganismos utilizados sean preferiblemente termófilos, que fermenten rápida y completamente sustratos baratos, con adición mínima de nutrientes nitrogenados, que crezcan en condiciones de valores reducidos de pH, presenten poca producción de biomasa y una despreciable cantidad de subproductos.

Los microorganismos que pueden utilizarse para la producción de ácido láctico, pertenecen a los géneros *Lactobacillus*, *Carnobacterium*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Tetragenococcus*, *Lactococcus*, *Vagococcus*, *Enterococcus* y *Aerococcus*; pero además es posible usar cepas de hongos como *Rhizopus* que producen ácido L(+) láctico (Datta et al., 1999).

*Lactobacillus delbrueckii* es el microorganismo utilizado en la producción industrial, ya que tiene la ventaja de consumir eficientemente glucosa y ser un microorganismo termófilo con temperatura óptima de crecimiento en el rango de 45 a 62°C, lo que reduce costos de enfriamiento y esterilización, así como riesgos de contaminación microbiológica en el fermentador. Presenta un pH óptimo entre 5.5 y 6.5, por lo cual el ácido producido es continuamente neutralizado con  $\text{CO}_2$ . No presenta actividad amilolítica ni celulolítica. En medio lactosado la bacteria recomendada es *Lactobacillus bulgaricus* que también es termófila (Domínguez y Vásquez 1999).

Otros microorganismos como *Zymomonas mobilis*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluiveromyces lactis* y *E. Coli*, han sido también utilizadas para producir ácido láctico (Bianchi et al 2001).

Industrialmente se utilizan como sustratos, sacarosa proveniente de azúcar de caña y remolacha azucarera, lactosa proveniente de lactosuero, y dextrosa procedente de almidón hidrolizado. La sacarosa refinada y glucosa son los sustratos más utilizados. Otros posibles sustratos son materiales celulósicos y licores sulfíticos, aunque estos precisan de pretratamiento. También es posible usar melazas, aunque plantean problemas en las etapas de recuperación.

Sin embargo, Monteagudo y Aldaveno, 1999, utilizaron con éxito, melazas de remolacha para la producción de ácido láctico. Además los sustratos almidonosos disponibles en la forma de desechos agrícolas, granos dañados y porciones comestibles de granos y tubérculos sirven como materia prima para la producción del ácido. A partir de almidón la producción de ácido láctico, se lleva a cabo en dos pasos,

el proceso de sacarificación llevado a cabo mediante ácidos o amilasas microbianas y el proceso de fermentación mediante *Lactobacillus* (Datta et al., 1999).

Otros sustratos reportados en la literatura reciente, son: fibras de alfalfa, permeado de lactosuero, almidón de yuca, paja de trigo y residuos de papa adicionados de residuos generados en el proceso de producción de concentrados para alimentación animal (jugos verdes y pardos) (Serna et al., 2003).

## FERMENTACION

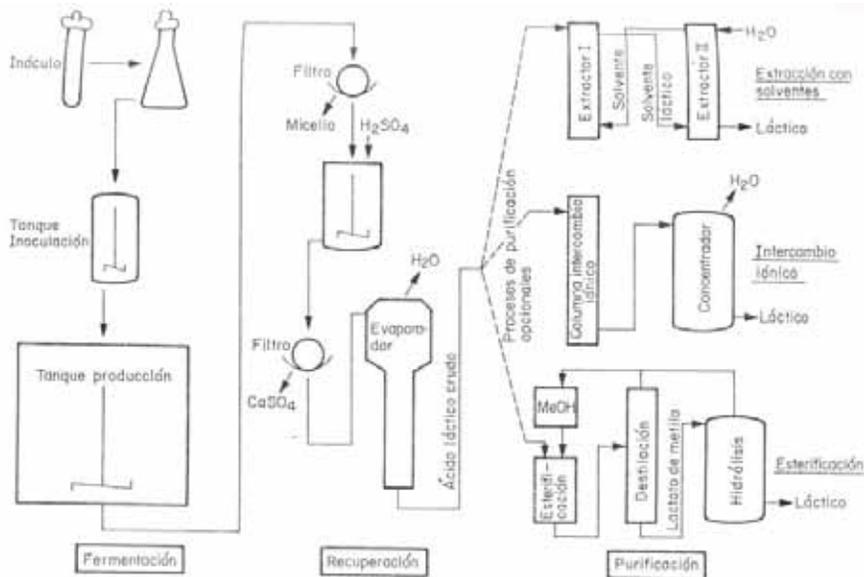
El ácido láctico es sintetizado a partir del piruvato bajo condiciones de oxígeno limitado en una reacción catalizada por una deshidrogenasa del ácido láctico, en la cual la concentración del estereoisomero D- y L- ácido láctico es determinada por la especificidad de la deshidrogenasa. La producción fermentativa del ácido láctico es hecha preferentemente por el grupo de bacterias ácido lácticas capaces de convertir las hexosas en ácido láctico. El ácido láctico también puede ser preparado por otras bacterias, por hongos o por levaduras. Las bacterias ácido lácticas pueden producir alguno o ambos estereoisómeros, y también varios subproductos. La fermentación puede ser realizada en procesos por lote o continuos. Los parámetros importantes en la fermentación son el pH, temperatura, atmósfera, y en algunos casos también la agitación en el medio.

En la fermentación por lotes el pH es generalmente mantenido de forma constante por la adición de agentes neutralizantes, tales como:  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{Mg(OH)}_2$ ,  $\text{NaOH}$  o  $\text{NH}_4\text{OH}$ . La fermentación típicamente se hace comenzando con una concentración de azúcar al 5% y en la presencia de nutrientes con nitrógeno. La conversión del ácido láctico en un rango de 90-99% puede lograrse en un periodo de dos días. En la fermentación continua son esenciales los mismos parámetros y aditivos, pero la ventaja de un proceso continuo es una alta productividad cuando es comparada con el proceso de fermentación por lotes (Sodergard y Stolt, 2002).

La fermentación se termina cuando todo el azúcar es consumido, con el fin de facilitar la purificación. Al final de la fermentación el medio es ajustado a pH 10 y calentado para

solubilizar el lactato de calcio y coagular las proteínas presentes. Posteriormente el medio se filtra para remover sustancias insolubles, así como biomasa. Después de concentrar por evaporación, el ácido libre se obtiene por adición de ácido sulfúrico seguido de filtración para remover el sulfato de calcio formado. En la figura 4.1, puede observarse un esquema simplificado de la producción de ácido láctico.

Figura 4.3: Esquema de producción de ácido láctico



Fuente: Serna et al., 2003.

## RECUPERACIÓN

El ácido láctico obtenido por fermentación tiene que ser separado del medio de reacción, y en la mayoría de los casos debe ser purificado para ser usado en propósitos de polimerización; diferentes aproximaciones y combinaciones del mismo han sido aplicados. La neutralización con una base seguida por filtración, concentración, y acidificación es un proceso tradicional para la manufactura de ácido láctico con una alta pureza. El proceso de extracción líquido/líquido ha sido descrita como una ruta para la recuperación de ácido láctico y un proceso basado en la esterificación con alcoholes seguida por la destilación e hidrólisis. Los procesos mencionados pueden ser usados en combinación con las técnicas de separación, incluyendo ultrafiltración, nanofiltración, electrodiálisis y procesos de intercambio iónico para incrementar la pureza del ácido láctico (Sodergard y Stolt, 2002).

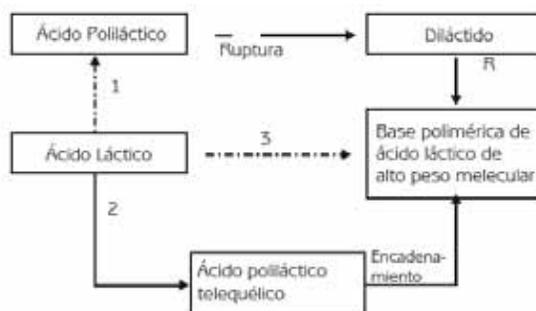
Hay diferentes grados de ácido láctico dependiendo del uso final que se le dará. La pureza de la más baja a la más alta es, grado técnico, grado alimenticio, grado farmacéutico, y grado analítico. Los grados más bajos contienen sulfatos, metales, amino ácidos, y varios carbohidratos. El grado necesario para la polimerización del ácido láctico tiene que incluso ser más alto que el grado analítico. Los residuos de carbohidratos presentes en el grado analítico causan color, las trazas de cationes como el  $\text{Na}^+$ , aún si están en partes por millón, conducen a la racemización del ácido, la presencia de grupos hidroxilo afectan la formación de los iniciadores de los polímeros, y los grupos carboxilo afectan la reacción al formar un complejo con los catalizadores (Gupta y Kumar, 2007; Henton et al., 2005).

#### 4.2.3 El poli ( ácido láctico)

##### **Producción de PLA**

El ácido láctico utilizado en la polimerización para la producción de PLA debe ser de alta pureza (Sodergad, 2000). Los polímeros basados en ácido láctico, pueden manufacturarse en diferentes rutas de polimerización, las cuales se esquematizan en la figura 4.4.

Figura 4.4: Diferentes rutas en la manufactura de bases poliméricas de ácido láctico



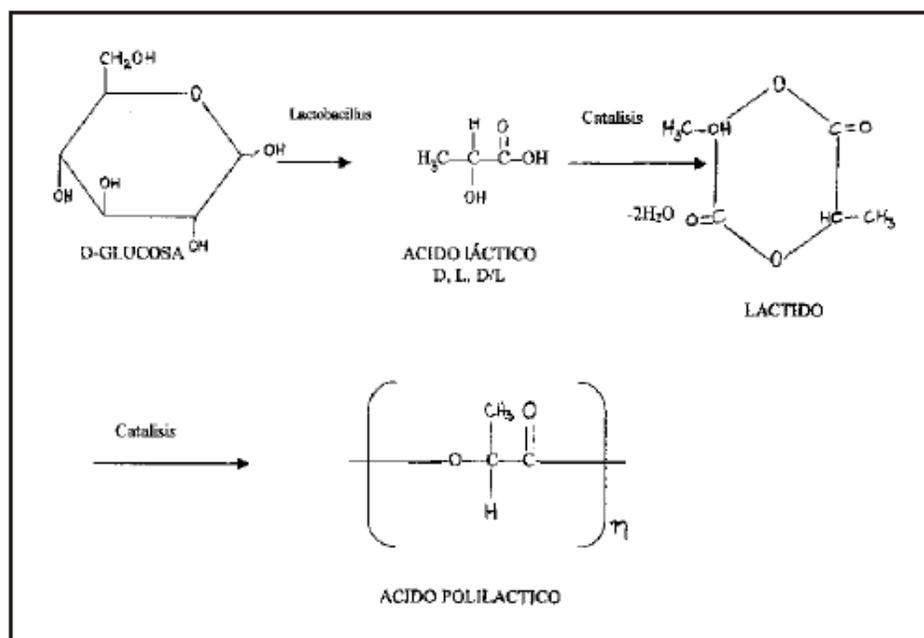
Fuente: Sodergar 2000

La primera ruta indicada en la figura 4.4, es conocida como una reacción de apertura del anillo (ROP, por sus siglas en inglés *Ring Opening Polymerization*); incluye una policondensación del ácido láctico, seguido por una depolimerización hacia el dímero

diláctido, el cual puede polimerizarse abriendo el anillo, en polímeros de alto peso molecular. La síntesis del ácido láctico por esta ruta puede detallarse en la figura 4.3.

Los polímeros preparados por este tipo de polimerización son la mayoría comúnmente estudiados debido a la posibilidad de un mejor control en su química, y así de esta manera las propiedades de los polímeros resultantes pueden ser controladas, las cuales amplían los campos de aplicación.

Figura 4.5: Síntesis de polil (ácido láctico) por ROP



Fuente: Serna et al. 2003

En la segunda ruta indicada en la figura 4.4, el ácido láctico es policondensado en presencia de un monómero difuncional, por ejemplo diol o diácido, produciendo un polímero telequérico, el cual puede unirse a otro para producir polímeros de alto peso molecular.

En la tercera ruta es la polimerización por policondensación, el ácido láctico policondensado directamente en polímeros con alto peso molecular, manipulando el equilibrio entre: ácido láctico, agua y poli (ácido láctico) en un solvente orgánico. Estas reacciones se producen por simple calentamiento o por la acción de catalizadores como

alcoxidos metálicos y complejos quirales de aluminio metoxilado (Sodergard y Stolt, 2002; Sodergar, 2000).

La ruta de polimerización se elige dependiendo del peso molecular deseado en polímero, polímeros con un bajo peso molecular (menor a 10 000) son preferidos cuando se desea una degradación rápida (ejemplo, capsulas para medicamentos) y polímeros con un alto peso molecular (mayor a 10 000) tendrán una velocidad de degradación más lenta (Gupta y Kumar, 2007)

Si se desea más información sobre las reacciones se recomiendan los artículos de Sodergard y Stolt, 2002, Sodergar, 2000 y Gupta y Kumar, 2007; este último hace referencia a más de 100 catalizadores en las reacciones de polimerización.

### **Propiedades físicas y mecánicas del PLA (Sodergard, 2000).**

Las propiedades físicas y mecánicas, farmacéuticas y de reabsorción dependen de la composición del polímero, de su peso molecular y de su cristalinidad. La cristalinidad puede ajustarse desde un valor de 0% a 40% en forma de homopolímeros lineales o ramificados, y como copolímeros al azar o de bloque. Una forma cristalina (en su mayor parte compuesta de forma L-láctido) y de alto peso molecular (> 100.000 Daltons) garantiza una reabsorción larga (aproximadamente de 1 a 2 años). Formulaciones diferentes y la adición de radicales en las cadenas, permiten controlar o modelar la velocidad de reabsorción. La tabla 4.2 muestra algunas propiedades del PLA de acuerdo a su composición.

Tabla 4.2: Propiedades del PLA

<b>Masa Molecular (Kda)</b>	<b>% Cristalinidad</b>	<b>Viscosidad h (dL/g)</b>	<b>Densidad r (g/cm<sup>3</sup>)</b>
L-PLA 50 a 756	15 a 74	0.61 a 8.2	1.25
D L PLA 21 a 550	0 (amorfo)	0.25 a 2.01	1.29
PLA-PGA 20 a 145	46 a 52	0.5 a 1.6	1.50 a 1.64

Fuente: Serna et al., 2003.

Utilizando 100% de L-PLA, resulta un material con alto punto de fusión y alta cristalinidad. Si se usa una mezcla D y L, se obtiene un polímero amorfo con una temperatura de transición vítrea (Tg) de 60°C. Con 90% D y 10% L.

La temperatura de procesamiento está entre 60 y 125°C y depende de la proporción de ácido láctico D o L en el polímero. Sin embargo el PLA puede ser plastificado con su monómero o alternativamente con ácido láctico oligomérico y esto permite disminuir Tg.

El PLA tiene propiedades mecánicas en el mismo rango de los polímeros petroquímicos, a excepción de una baja elongación. Sin embargo, esta propiedad puede ser afinada durante la polimerización (por copolimerización) o por modificaciones post polimerización (por ejemplo, usando plastificantes). La tabla 4.3, muestra una comparación de algunas propiedades mecánicas de plásticos de origen petroquímico con las propiedades del PLA.

Tabla 4.3: Algunas propiedades de polímeros utilizados como materiales de empaque.

Polímero	Fuerza de tensión (Mpa)	Modulo de tensión (Gpa)	Temperatura máxima usada (°C)
LDPE	6.2 – 17.2	0.14 – 0.19	65
HDPE	20 – 37.2		121
PET	68.9	2.8 – 4.1	204
PS	41.3 -51.7	3.1	78
PA	62 – 82.7	1.2 – 2.8	-
PP	33 – 37.9	1.1 -1.5	121
PLA (L+)	40 – 60	3 – 4	50 – 60

Fuente: Sodergard, 2000.

Otras limitaciones del PLA, comparado con otros empaques plásticos, es la baja temperatura de distorsión (HDT); esto puede ser un problema en aplicaciones donde el material de empaque es expuesto a picos de calentamiento durante el llenado, transporte o almacenamiento y puede finalmente deformarse.

La barrera al agua y al CO<sub>2</sub> del PLA es bastante buena, la barrera al O<sub>2</sub> es considerada buena.

En el PLA se puede imprimir e incluso puede no necesitar tratamientos corona antes de la impresión (Sodergad, 2000).

El PLA puede ser tan duro como el acrílico o tan blando como el polietileno, rígido como el poliestireno o flexible como un elastómero. Puede además ser formulado para dar una variedad de resistencias. Las resinas de PLA pueden ser sometidas a esterilización con rayos gama y es estable cuando se expone a los rayos ultravioleta. Al PLA se le atribuyen también propiedades de interés como la suavidad, resistencia al rayado y al desgaste (Litchfield et al., 1996).

## **Biodegradabilidad**

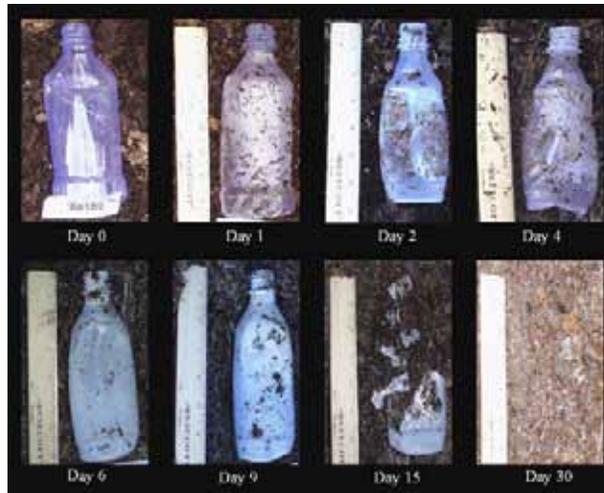
### **QUÍMICA**

El PLA es insoluble en agua cuando tiene un alto peso molecular, pero cuando es sujeto a degradación (temperaturas superiores a 50° C, por ejemplo la composta), el agua penetra en la matriz del polímero e hidroliza los grupos éster atacando los enlaces químicos en la fase amorfa, convirtiendo la cadena largas del polímero en cadenas más cortas, finalmente disminuyendo el peso molecular. Los oligómeros solubles en agua escapan de la matriz hacia el medio acuoso circundante. La degradación causa un incremento en el número de cadenas con carboxilo terminal, esto se sabe que cataliza la reacción para la hidrólisis del enlace éster. Los mecanismos de degradación y los comportamientos del PLA son afectados por varios factores, incluyendo los materiales y el medio de hidrólisis. En los polilactidos el coeficiente de difusión de los oligómeros solubles depende principalmente de factores como la masa molar, el grado de hinchamiento de la matriz, la conformación macromolecular, rigidez, estructura química, peso molecular, distribución y peso molecular de las impurezas, estereoquímica, movilidad de la cadena y la cristalinidad. El dominio cristalino es más resistente que el dominio amorfo en la biodegradación. Los caracteres hidrofóbico e hidrofílico de la cadena polimérica afectan notablemente el proceso de biodegradación. La liberación de los oligómeros solubles con grupos terminales carboxilo dependen de su solubilidad y del medio acuoso que le rodea, por lo que factores como el pH, fuerza iónica, temperatura y capacidad de amortiguamiento son importantes

Recientemente se han publicado estudios sobre la rapidez de biodegradación bajo condiciones reales de composta de botellas empleadas para el envasado de bebidas,

bajos estas condiciones se observo que la degradación completa ocurre en un lapso de 60 días (Kale et al., 2007; Kale et al., 2005)

Figura 4.6: Biodegradación de botellas en condiciones de composta reales

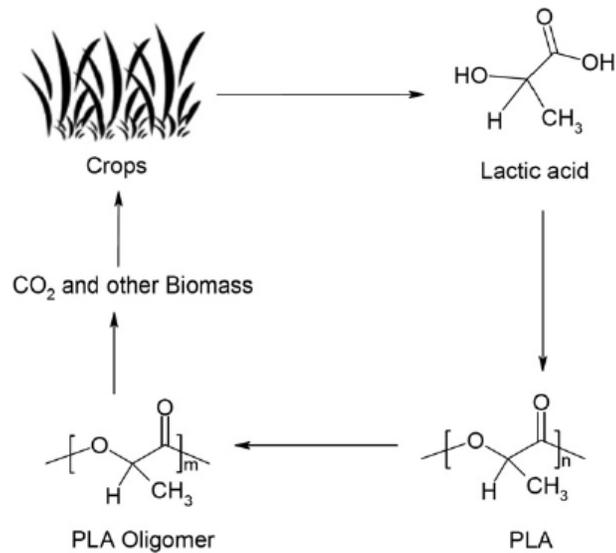


Fuente: Kale et al., 2007; Kale et al., 2006.

## MICROBIANA

La degradación del PLA es más lenta si la cristalinidad es elevada, si el contenido de L-P.L.A. es fuerte y si el peso molecular es elevado. En presencia de PLA, los microorganismos (hongos y bacterias) colonizan la superficie del polímero y son capaces de segregar enzimas que rompen en pequeños fragmentos el polímero; la colonización de la superficie depende de factores tales como la tensión superficial, porosidad y textura superficial y accesibilidad a las cadenas de polímero. Los grupos hidrófilos de las enzimas (-COOH, -OH, -NH<sub>2</sub>) atacan los grupos ester de las cadenas de polímeros mediante reacciones de hidrólisis seguida por reacciones de oxidación. De esta forma reducen el polímero a fragmentos de peso molecular inferiores a 500g/mol, los cuales pueden ser digeridos por los microorganismos. Las reacciones enzimáticas ocurren generalmente en medio acuoso. Las condiciones necesarias para que se pueda producir el proceso de biodegradación son: Presencia de microorganismos, oxígeno, humedad, nutrientes minerales, temperaturas entre 20 y 60°C, dependiendo del microorganismo y pH entre 5-8 (Serna et al., 2003).

Figura 4.7: Ciclo de vida del PLA



Fuente: Gupta y Kumar, 2007.

## BIORREABSORCIÓN

En los tejidos vivos, el P.L.A. se despolimeriza totalmente por hidrólisis química. La degradación del polímero comienza por una pérdida de peso molecular (sin pérdida de masa) y se termina por una pérdida de masa, con descomposición del polímero en monómeros y fagocitosis por los macrófagos. El hecho de que no haya un proceso enzimático, realizado por la reabsorción del polímero acarrea una débil reacción de los tejidos, que se limita a una reacción a cuerpo extraño. Después de solubilización, el ácido láctico se degrada por vía de los lactatos y piruvatos, y seguidamente es eliminado en forma de CO<sub>2</sub>, esencialmente por vía respiratoria (Serna et al., 2003)

## Aplicaciones del PLA

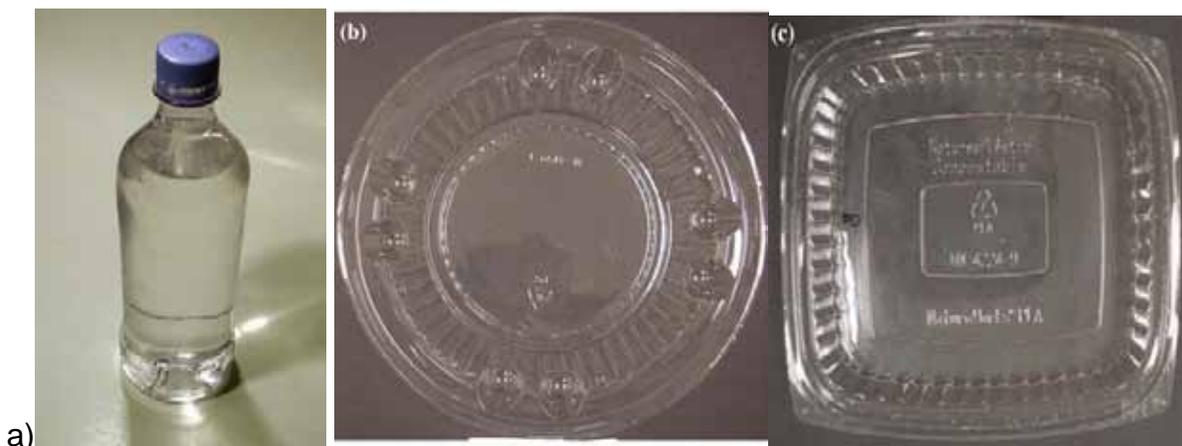
### EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS

El PLA fue objeto de un minucioso estudio por la F.D.A. en el que se encontró que la migración del ácido láctico, láctido y ácido lactoiláctico; fueron limitados y por tanto concluyeron que el PLA es una sustancia GRAS (reconocida como segura) y puede ser utilizada como material de empaque para alimentos (Sodergad, 2000). Materiales constituidos de 10% de PLA más 90% de copoliéster, 10% de PLA más 90% de copoliamida, 10% de PLA más 90% de almidón, 10% de PLA más 90% de policaprolactona (PLC), han sido utilizados como material de empaque de yogurt,

mantequilla, margarina y quesos de untar. Estos empaques, han cumplido funciones de protección mecánica, barrera a la humedad, a la luz, a las grasas y a los gases. Han sido utilizados además como "ventanas" en empaques para productos secos como el pan, donde cumplen una función de barrera contra la humedad, y en la elaboración de recipientes de papel recubiertos de PLA para el envasado de bebidas, donde cumple también una función de barrera a la humedad.

Södergard (2000) dice que la aplicación más prometedora del PLA en materiales de empaque, es en productos que deben permanecer fríos y que tienen tiempos de vida limitados, como los productos lácteos. Sin embargo, en un estudio realizado en la Universidad Tecnológica de Dinamarca, en el cual se evaluaba la conveniencia de utilizar biobases en los materiales de empaque para alimentos, concluyeron que el alto crecimiento fúngico en los materiales obtenidos de bases biodegradables, es un factor negativo para el uso en alimentos y afirman que los bioenvases son más convenientes para alimentos con alta respiración y de vida de almacenamiento corto como vegetales, y para el empaque de algunos productos de panadería (Petersen 1999).

Figura 4.8: Envases hechos de PLA



a) Botella (Fuente: Kale et al, 2007), b) Charola, y c) Contenedor (Fuente: Kale et al, 2006)

El PLA también tiene aplicación en la elaboración de charolas, platos, vasos y cubiertos desechables. En los Juegos Olímpicos de Atenas 2004 se elaboraron completamente de PLA todas las tazas y los vasos de papel fueron recubiertos con PLA, esto se hizo con la finalidad de promover una imagen amigable con el medio ambiente. Un pequeño

nicho de mercado en Europa ha sido encontrado y tiene una preferencia por el PLA y por la comida orgánica (Robertson, 2006).

El principal fabricante de PLA con aplicación en envase para alimentos es la empresa Natureworks (Dow Cargill) con productos tales como botellas para bebidas, películas para envolver alimentos, termoformados (charolas) y sacos (Henton et al., 2005).

En agricultura para aplicaciones como película de recubrimiento, bolsas para trasladar plantas, sistemas para fertilizantes y pesticidas (Gupta y Kumar, 2007)

### APLICACIONES MÉDICAS

El PLA es un termoplástico biodegradable por sus buenas propiedades mecánicas, degradabilidad y sus productos de degradación no tóxicos, está siendo usado en las aplicaciones biomédicas de los plásticos convencionales. El PLA ha sido usado en el campo de la farmacéutica para sistemas de liberación de drogas, después de 1980, drogas basadas en proteínas tales como la insulina y la hormona de crecimiento fueron producidas por extracción de tejidos y tales drogas fueron usadas en esta aplicación clínica. Con la ventaja de la biología molecular, la insulina pudo ser sintetizada y producida en células. Un mejor esfuerzo en el desarrollo es necesario para la liberación directa de agentes terapéuticos en el sistema circulatorio, el cual es importante para las drogas que experimentan una inactivación significativa al ser liberados (Gupta y Kumar, 2007)

En el campo de la cirugía el L-PLA tiene grandes aplicaciones; los materiales disponibles en el mercado son: Material de sutura reabsorbible (cirugía oftalmológica, conjuntival, toraxabdominal, anastomosis neurológicas), material de cirugía ortopédica (implantes reabsorbibles), tornillos, broches, placas, grapas, cirugía reconstructiva craneofacial, maxilofacial (tejidos óseos y tejidos blandos). El PLA es utilizado en la creación de matrices para regeneración guiada de tejidos como piel, cartílagos, huesos, estructuras cardiovasculares, intestino, tejido urinario entre otros (Serna et al., 2003).

## Principales fabricantes de PLA

Se presenta en la tabla 4.4 a los fabricantes de PLA y su capacidad de producción.

Tabla 4.4: Fabricantes y capacidad de producción de ácido láctico y polímeros de este

Nombre de la compañía	Localización	Producto principal	<sup>a</sup> Capacidad (tonelada métrica/año)
Apack AG	Alemania	Poli (lactido) (licencia de Fortum Oyj)	<sup>b</sup>
Birmingham Polymers	USA, LA.	Polimeros biodegradables	<sup>b,c</sup>
Boeringer Ingelheim	Alemania	Polimeros biodegradables	<sup>b,c</sup>
Dow- Cargill	USA, NB	Ácido Láctico; láctidos; PLA	140 000
Fortum Oyj	Finlandia	Poli (lactido)	<sup>b</sup>
Galactic	Belgica	Ácido láctico, esteres de ácido láctico, PLA.	15 000
Hycail B.V.	Holanda	Ácido Láctico; láctidos; PLA	400
Mitsui Chemicals	Japón	PLA	500
Phusis	Francia	PLA	<sup>b,c</sup>
Purac	Holanda	Ácido Láctico; PLA <sup>b,c</sup>	80 000
Shimadzu Corporation	Japón	PLA	>100

<sup>a</sup> En relación al mencionado en la tercera columna

<sup>b</sup> Información no disponible

<sup>c</sup> Pequeña escala, aplicaciones medicas

Fuente: Sodergard y Stolt, 2002.

## Tendencias de investigación

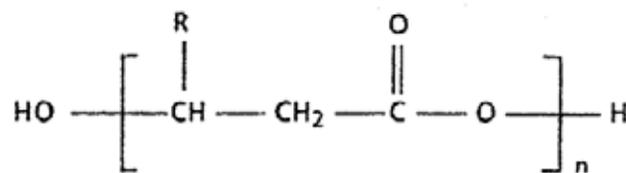
Las investigaciones actuales se centran en disminuir los costos de producción del precursor (a través del uso de desechos agroindustriales como sustratos de fermentación, en la búsqueda de microorganismos altamente productores y en la aplicación de nuevas tecnologías para los procesos de extracción); en el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del polímero, en el perfeccionamiento de los métodos para evaluar la estabilidad microbiana de los empaques hechos en base a PLA, y en estudios de legislación y compatibilidad para empaques en contacto con alimentos (Serna et al., 2003).

### 4.3 POLIHIDROXIALCANOATOS (PHAs)

#### 4.3.1 Generalidades

Los polihidroxicanoatos (PHA) (figura 4.9) son sintetizados por muchas especies de distintos géneros bacterianos en condiciones de crecimiento caracterizadas por exceso en la fuente carbonada y limitación de otros nutrientes como nitrógeno o fósforo. Estos polímeros se acumulan en gránulos intracitoplasmáticos y son utilizados como fuente de carbono y energía en condiciones de escasez nutricional. La degradación de PHA cumple un papel muy importante en la supervivencia bacteriana y en los mecanismos de resistencia al estrés, en condiciones de baja concentración de nutrientes.

Figura 4.9: estructura general de PHAs



R = methyl;  $\beta$ -hydroxybutyrate (HB)

R = ethyl;  $\beta$ -hydroxyvalerate (HV)

R = propyl;  $\beta$ -hydroxycaproate (HC)

R = butyl;  $\beta$ -hydroxyheptanoate (HH)

R = pentyl;  $\beta$ -hydroxyoctanoate (HO)

R = hexyl;  $\beta$ -hydroxynonanoate (HN)

R = heptyl;  $\beta$ -hydroxydecanoate (HD)

R = octyl;  $\beta$ -hydroxyundecanoate (HUD)

Fuete: Hocking y Marchessault, 1994,

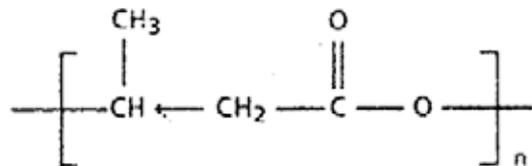
A su vez, estos biopolímeros son termoplásticos y poseen propiedades similares a las de los plásticos derivados del petróleo. Pueden ser totalmente degradados por las bacterias que los producen, y por otras bacterias, hongos y algas. A pesar de las evidentes ventajas de los PHA frente a los plásticos derivados del petróleo, su uso está muy limitado debido a su alto costo de producción. Por este motivo, gran parte de las

investigaciones realizadas sobre los PHA en los últimos años se han concentrado en reducir los costos de producción y aumentar la productividad utilizando diversas estrategias. Entre ellas se encuentran el rastreo de nuevas cepas productoras, la optimización de las estrategias de cultivo y la producción de PHA utilizando cepas de *E. coli* recombinantes (Almeida et al., 2004).

La atracción comercial y académica por estos materiales se debe principalmente a que son producidos de fuentes renovables y pueden ser utilizados para sustituir a los polímeros sintéticos. Son biodegradables y poseen un rango de propiedades dependiendo de los monómeros que los constituyan. Aunque los PHAs tienen ventajas sobre los plásticos convencionales, como se ha mencionado la aplicación es limitada por su alto costo de producción. Una sustancial reducción del costo de producción es necesaria antes de su implementación en aplicaciones tales como envase o productos de desecho (Wang et al., 2007).

Los PHA han estado atrayendo la atención en años recientes como termoplásticos biodegradables y biocompatibles con aplicaciones potenciales. El poli (3-hidroxi-butarato) (PHB) (figura 4.10) es uno de los PHAs biodegradables mejor conocidos. PHB es un poliéster termoplástico natural y muchas de sus propiedades son comparables con los poliésteres degradables producidos sintéticamente como los poli-láctidos (Bucci et al., 2007; Bucci et al., 2005).

Figura 4.10: Estructura del PHB



Fuente: Hocking y Marchessault 1994

### *4.3.2 Historia (Byrom, 1994; Hocking y Marchessault, 1994)*

---

El primer PHA descubierto fue el polihidroxibutirato. El poli- $\beta$ -butirato (PHB) fue mencionado en la microbiología alrededor de 1901. Estudios más detallados fueron mencionados por Maurice Lemoigne del Instituto Pasteur, inicialmente en 1905. Él observó inclusiones parecidas a “gránulos” en el fluido citoplasmático de las bacterias los cuales no eran solubles en éter, como ocurre normalmente con los lípidos. Usando observaciones microscópicas, saponificación, autólisis, solubilidad y variación en el punto de fusión con el peso molecular, así como actividad óptica, él dedujo que se trataba de un poliéster que tenía la fórmula molecular empírica ( $C_4H_6O_{12}$ ). Él también informó las diferencias de puntos de fusión encontradas en dos diferentes fracciones aisladas, debidas a la diferencia en el grado de polimerización.

En los próximos treinta años, los cuerpos de inclusión de PHB fueron estudiados principalmente como mera curiosidad académica. En 1952, Kepes y Péaud Lenoël observaron que ambas fracciones de poliéster aisladas por Lemoigne eran producto de la hidrólisis de un polímero lineal de alto peso molecular con una temperatura de fusión de 180°C, que tenía un grupo ácido carboxílico en un extremo y un grupo alcohol en el otro. Weibull correlacionó la presencia de gránulos lípidicos intracelulares encontrados en varias bacterias con el PHB. En 1958 Williamson y Willkinson revisaron los trabajos previos y fueron los primeros en reportar datos sobre el peso molecular y propiedades físicas. Macrae y Willkinson observaron que la cantidad de PHB se incrementaba al limitar el nitrógeno en el medio de desarrollo. Siguiendo estos trabajos, Merrick y Duodoroff examinaron la biosíntesis y procesos de degradación enzimática del polímero dentro de las células bacterianas. Los científicos llegaron a la conclusión que las bacterias acumulaban PHB como un material de reserva de energía; así como el almidón y el glicógeno son acumulados en otros organismos, la naturaleza utiliza almidón como el medio por el cual las plantas almacenan energía para uso posterior (la papa y los cereales contienen grandes cantidades de almidón. El glicógeno es un polisacárido que tienen los animales la misma función de almacenamiento de energía que el almidón cumple en los vegetales.

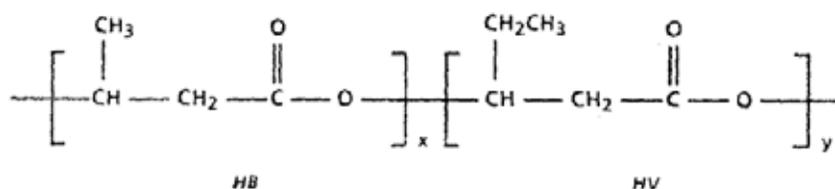
A finales de los 50's y principios de los 60's, Baptist y Weber en W.R. Grace y Co. en los Estados Unidos de América empezaron a producir grandes cantidades de PHB para evaluación comercial. Ellos obtuvieron patentes por la producción y procesos de separación y desarrollaron artículos tales como material de sutura y prótesis. Sus innovaciones se extendieron al uso de productos de fermentación altamente impuros para la obtención de laminados plásticos. Sin embargo, su producción de PHB por fermentación fue relativamente baja y su proceso de extracción por solventes era muy caro. Además, el polímero producido estaba fuertemente contaminado con residuos bacterianos, haciendo difícil su procesado. El proyecto fue abandonado y el interés comercial se perdió durante una década. Como quiera que sea, estos trabajos fueron los pioneros sobre el uso potencial del PHB como plástico y su aplicación como un material biocompatible.

En 1968, ICI (Imperial Chemical Industries) en el Reino Unido, comenzó a desarrollar una tecnología de proteínas de células simples (SCP), con la meta inicial de desarrollar un producto alimenticio altamente nutritivo para animales. Se obtuvo un producto alimenticio SCP llamado "Pruten" mediante fermentación, aunque con un alto costo inicial para su producción a gran escala comercial. Por lo que se decidió no comercializarlo, dejando la tecnología y facilidades a la mano para ser aplicadas a otros proyectos.

Combinando la experiencia en la fermentación a gran escala de la División de Agricultura, con habilidades en procesamiento de polímeros y evaluación de la División de Plásticos, ICI se fue preparando para abandonar la comercialización de PHB. La crisis de la década de los 70's fue un incentivo para buscar sustitutos naturales de los plásticos sintéticos. ICI estableció condiciones tales que la bacteria *Alcaligenes eutrophus* era capaz de producir hasta un 70% en peso de biomasa seca como PHB. Sin embargo, las propiedades mecánicas del PHB puro no mostraron ninguna ventaja particular sobre el polipropileno, debido a la excesiva fragilidad. Cuando se estabilizó el precio del petróleo, los costos de producción del PHB eran más altos que los del polipropileno, por lo que la idea original de desarrollar PHB como un plástico de gran volumen, se terminó.

Como quiera, ICI había avanzado de gran manera en la producción de PHB, patentando procedimientos para la producción de copolímeros de β-hidroxibutirato (HB) y β-hidroxivalerato (HV) (figura 4.11). Esta familia de materiales, conocidos como PHBV o Biopol ha mejorado muchas propiedades del PHB, incluyendo su fragilidad. El interés en desarrollar poliésteres bacterianos, también se incrementó debido a su biodegradabilidad. El trabajo de ICI sobre PHB fue publicado en 1981 en un escrito por Peter King, y en 1983 ICI y MTM (Dirección Tecnológica de Marlborough) se unieron llamándose Biopolímeros Limitados Marlborough (MBL) para explotar el Biopol. En 1990, el primer producto comercial hecho de Biopol fue lanzado en Alemania como una botella biodegradable para empacar el champú biodegradable de Wella (Byrom, 1994; Hocking y Marchessault, 1994).

Figura 4.11: Estructura Química del PHBV



Fuente: Hocking y Marchessault, 1994

### 4.3.3 Biosíntesis

Muchas especies bacterianas aeróbicas y anaeróbicas, bajo condiciones de escasez de nutrientes con un suministro de carbono suficiente, desarrollan cuerpos de inclusión sub-micrónicos los cuales están compuestos de poli-β-hidroxialcanoatos (PHAs), de los cuales el PHB se tiene en mayor cantidad. Los cuerpos de inclusión de PHB son normalmente esféricos, con un diámetro de 0.5μm. En el caso de limitación de nitrógeno, las enzimas de la despolimerasa PHB están ausentes, aconteciendo la acumulación (Bucci et al., 2005).

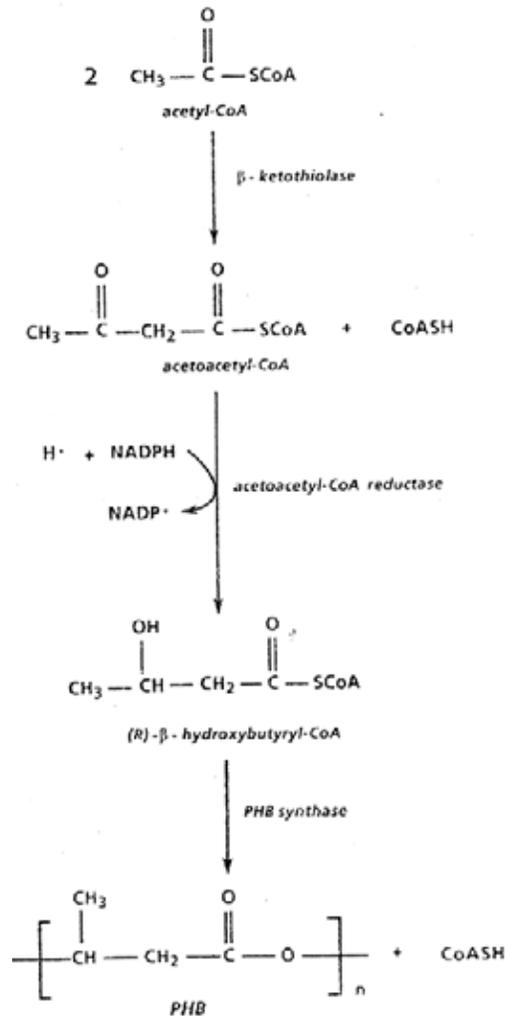
Las moléculas de PHB insolubles en agua ejercen una presión osmótica intracelular despreciable, haciendo de estos poliésteres materiales ideales de reserva. La cantidad

de PHB en células bacterianas es normalmente 1-30% de su peso en seco; sin embargo, bajo condiciones de fermentación controlada, donde se limita el nitrógeno o el oxígeno, algunas especies de *Azotobacter* y *Alcaligenes* pueden acumular el polímero en un 90% de su biomasa seca. Trabajos recientes han mostrado que el PHB puede estar presente en las células de otras maneras distintas a los cuerpos de inclusión, y así de esta manera se han aislado cadenas cortas (130-200 unidades respectivas) del polímero en membranas bacterianas y también en una gran variedad de tejidos de plantas y animales. Este PHB se ha encontrado en pequeñas cantidades (menores a 0.001% de peso en seco) formando complejos con lípidos, proteínas o sales de aniones poliméricos, surgiendo una función fisiológica diferente a la de un material de reserva (Wang, 2007).

Los complejos de PHB con sueros de albúmina o lipoproteínas de muy baja densidad, pueden servir para modificar la actividad de los transportadores de proteínas e interferir con la degradación de éstas. El PHB en las membranas de plasma de bacteria forma un complejo con el calcio y con los polifosfatos, por lo que se ha postulado que es una hélice exolipofilicendopolarfílica cerca del sistema interior del polifosfato de calcio creando un canal continuo a través de la membrana. Este complejo se cree que juega un papel en la regulación de calcio y fosfato intracelular (Bucci, 2007).

Se han realizado muchos estudios sobre la síntesis metabólica y degradación de PHB en microorganismos. El camino usado por *A. eutophus* (Figura 4.12) es el más conocido, y ha sido confirmado experimentalmente utilizando resonancia magnética nuclear de  $C^{13}$  (NMR de  $C^{13}$ ). El Bloque construido es el acetil-CoA, que se produce al alimentar glucosa, fructosa, sacarosa, metanol, ácido acético y mezclas de dióxido de carbono-hidrogeno. Una enzima  $\beta$ -cetiolasas condensa dos moléculas de acetil-CoA para producir acetoacetil-CoA, el cual es reducido a R- $\beta$ -hidroxibutiril por una enzima (NADPH-dependiente y estereoeselctiva, acetoacetil-CoA reductasa). La tercera y última etapa de la biosíntesis es la acción de la enzima PHB sintasa, la cual toma el R- $\beta$ -hidroxibutiril y junta el grupo  $\beta$ -hidroxil a el carbono final de una molécula de PHB preexistente para formar un enlace éster, incrementando la longitud de la cadena en una unidad. (Wang et al 2007; Hocking y Marchessault 1994)

Figura 4.12: Ruta biosintetica del PHB.



Fuente: Hocking y Marchessault, 1994.

Se han reportado un amplio intervalo de pesos moleculares y puntos de fusión para el PHB, dependiendo del método de separación y de la entidad bacteriana. Bajo condiciones suaves de aislamiento tales como extracción del solvente o aislamiento directo de gránulos nativos, se pueden obtener polímeros de alto peso molecular, con pesos moleculares ponderados promedio del orden de unos cuantos cientos de miles hasta un millón o más. En los primeros estudios al combinar el tamaño del gránulo con el peso molecular, permitieron estimar que existen varios cientos de moléculas por gránulo, una situación análoga a una polimerización por emulsión.

#### 4.3.4 Separación

---

Una vez que los poliésteres se han acumulado en las células bacterianas, las paredes de éstas deben romperse para poder separar el polímero de los restos de las células. Se debe tener mucho cuidado, para evitar la despolimerización durante estos procesos. Las primeras mediciones de las propiedades físicas del PHB aislado mostraron grandes variaciones en los pesos moleculares, lo cual se probó, era principalmente debido a los métodos utilizados para la separación. También se pueden llevar a cabo ciertos grados de hidrólisis enzimática “in vivo” antes de la separación.

En general para la separación de PHAs, se han seguido tres aproximaciones: a) extracción por solventes, b) digestión química con hipoclorito de sodio y c) encimólisis selectiva. Se mejora la eficiencia mediante centrifugación del *caldo* de fermentación, donde la concentración de las células es de 50 g/L, y se obtiene una pasta concentrada de células que se utiliza como punto de partida para la separación del polímero (Bucci et al., 2007; Wang et al., 2007; Bucci, 2005; Byrom, 1994; Hocking y Marchessault, 1994)

##### **Extracción por solventes**

También conocida como la aproximación física para la extracción de PHA, en el método de extracción por solventes usualmente produce polímeros con alto peso molecular.

El PHA se extrae de la pasta de células bacterianas por disolución en un solvente orgánico como cloroformo, cloruro de metileno, 1,2-dicloroetano, 1,1,2-tricloroetano carbonato de propileno. La solución se filtra para eliminar los restos de células y entonces el PHA se precipita por enfriamiento lento de la solución o por adición de un no-solvente como metanol, dietil-éter o hexano. Los poliésteres se pueden purificar posteriormente por redisolución en cloroformo y reprecipitación con hexano o dietil-éter. La pureza del PHA recuperado es mejorado sí la biomasa es previamente tratada con metanol o acetona, ya que se incrementa la permeabilidad de la membrana celular y permite remover los lípidos y desnaturalizar algunas proteínas de bajo peso molecular que usualmente se extraen durante la separación del polímero.

El PHB obtenido por este método es un polvo blanco, altamente cristalino, de alto peso molecular, mientras que otros PHAs con menores velocidades de cristalización forman películas o agregados los cuales cristalizan generalmente a tiempos mayores. Como quiera que sea, el método requiere grandes volúmenes de solventes y no solventes, para extraer y para precipitar el polímero; por consiguiente este método no es adecuado para grandes volúmenes comerciales, y sólo se recomienda cuando se requiere una alta pureza del polímero.

### **Digestión con hipoclorito de sodio.**

También conocida como la aproximación química, este método fue utilizado por primera vez por Williamson y Wilkinson para separar gránulos de PHB a partir de *Bacillus cerus*. Las células bacterianas se tratan por 30-60 minutos, con una solución de hipoclorito de sodio, degradando y disolviendo la pared celular y otros componentes no-PHA, pero dejando los gránulos de poliéster aparentemente intactos. El polímero se puede purificar, lavándolo con dietil-éter o metanol para remover los lípidos. Debido a la alta alcalinidad se puede causar desdoblamiento de la cadena, afectando las propiedades superficiales y el peso molecular de las cadenas poliméricas.

Se han efectuado diferentes aproximaciones para minimizar el daño causado al polímero por este método. Nuti et al. en 1972 mostró que la liofilización células de *Azotobacter chroococcum* antes del tratamiento con Hipoclorito de sodio, se logró disminuir la despolimerización causada por este método. Nuti et al. observaron que liofilizando las células disminuía la actividad de la despolimeraza y que tratando las células con ácido fenilacético, antes de la liofilización se estabilizaba el peso molecular. Controlando el pH y el tiempo de digestión, Berger fue capaz de aislar PHB de alta pureza (95%) con un alto peso molecular (600,000). El pretratamiento con un surfactante incrementa tanto la pureza como el peso molecular de los gránulos aislados.

A pesar de estos avances, se tienen algunos problemas con este método por la dificultad para eliminar del polímeros las trazas de hipoclorito de sodio, y por consiguiente la contaminación del medio ambiente por el mismo.

## **Digestión enzimática**

Esta aproximación bioquímica para la separación del PHA fue desarrollada en 1964, cuando Merick y Doudoroff usando lisoenzimas y desoxirribonucleasa para solubilizar peptidoglucanos y ácidos nucleídos, respectivamente, de células de *B. cereus*. Las paredes celulares debilitadas fueron entonces rotas por ultrasonido para liberar los gránulos de PHB en una suspensión amortiguadora. Los gránulos separados por este método son todavía capaces de la síntesis enzimática y degradación de las cadenas de PHB ya que están muy cernas a su estado "*in vivo*". Se encontró que el 98% del gránulo está constituido de PHB y el 2% sobrante fueron proteínas con trazas de lípidos. Una modificación de este método ha sido utilizada recientemente con *A. eutrophus*.

La versión más avanzada del proceso de encimólisis selectiva, ha sido descrita por Holmes et al. El proceso se enfoca a una planta de producción de biomasa, con un alto porcentaje en peso de PHA por peso de biomasa seca (%PHA). La digestión enzimática de los componentes de la célula usualmente causa una liberación repentina de los ácidos nucleídos (DNA) en el medio de suspensión, por lo que esta se vuelve altamente viscosa y virtualmente imposible de tratar posteriormente. Para prevenir esta situación, se utiliza una etapa de calentamiento previa a la digestión enzimática para desnaturalizar y solubilizar el DNA. Siguiendo este pretratamiento, se usan varias enzimas (alcalasa, fosfolipasa, lecitasa y lisosomas) las cuales se separan de una u otra forma, en etapas secuenciales. Se controlan cuidadosamente el pH y la temperatura y así se obtiene la actividad óptima de las diferentes enzimas.

Los productos obtenidos por este procedimiento de separación, usualmente contienen un mínimo de 90% de material PHA, 1-3% de peptidoglucanos y 6-7% de proteínas. El PHA separado es sometido a un paso de purificación extra por extracción de solvente – como se describió anteriormente- o un secado con esparado, resultando gránulos de 0.2 -0.5  $\mu\text{m}$  de diámetro. La cristalinización es iniciada, a un mínimo hasta la superficie del gránulo, con tratamiento por calentamiento. Esta etapa del proceso se puede controlar para producir el nivel deseado de despolimerización.

### 4.3.5 Propiedades

---

El homopolímero PHB es un material termoplástico, viscoso y moldeable a temperaturas mayores al punto de fusión. Estas propiedades frecuentemente son comparadas con las del polipropileno (Tabla 4.5), ya que ambos polímeros tienen puntos de fusión, grado de cristalinidad y temperaturas de transición vítrea ( $T_g$ ) similares; no obstante, el PHB es más rígido y más quebradizo que el polipropileno. La fragilidad del PHB es debido a la presencia de cristales grandes en forma de esferulitas, los cuales se forman durante el enfriamiento a partir del fundido. Un tratamiento en rodillos calientes para remover grietas del interior de las esferulitas puede reducir la fragilidad, permitiendo la producción de películas dúctiles (flexibles). Los materiales también difieren en sus propiedades químicas, ya que el PHB presenta una baja resistencia a solventes, pero también una mucha mayor resistencia natural a la radiación ultravioleta que el polipropileno.

Tabla 4.5: propiedades del PHB comparadas con las del PP

Característica	PHB	PP
Punto de fusión cristalino ( $^{\circ}\text{C}$ )	175	176
Cristalinidad (%)	80	70
Peso molecular (Daltons)	$5 \times 10^5$	$2 \times 10^5$
Temperatura de transición vítrea ( $^{\circ}\text{C}$ )	-4	-10
Densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.250	0.905
Modulo de Young (GPa)	4.0	1.7
Fuerza de tensión (MPa)	40	38
Extensión al romper	6	400
Resistencia al ultravioleta	Buena	Pobre
Resistencia al solvente	Pobre	Buena

Fuente: Almeida et al., 2004.

Las primeras evaluaciones de PHB incluían la producción de molduras, extruidos, películas y fibras, cuyas propiedades fueron generalmente satisfactorias pero no espectaculares. Las películas para empaque tienen excelentes propiedades de barrera

para gases, siendo cinco veces menos permeable al dióxido de carbono que el poli(tereftalato de etileno) (PET), y fue más resistente que las películas de polipropileno pero no tanto como las de PET. El PHB se puede reforzar usando fibra de vidrio; las molduras con refuerzo de fibra de vidrio fueron resistente y más flexibles que las contrapartes similares de nylon, pero su resistencia al calor no fue adecuada bajo las especificaciones de un plástico de ingeniería.

Las propiedades de los copolímeros de PHBV mejoran sustancialmente, al incrementarse la concentración del valerato de unidades desde 0-25%. Existe un decremento en el punto de fusión (Tabla 4.6), aumentando el tamaño de la ventana de procesamiento en la cual el polímero puede ser fundido sin degradarse. La temperatura de transición vítrea también disminuye, permitiendo el uso de estos materiales a bajas temperaturas sin que se requiebren y se pongan vidriosos. La disminución en el modulo de Young (modulo de flexión) indica un mejoramiento de la flexibilidad. La resistencia al impacto también se incrementa al incrementar la concentración de HV, indicando que la flexibilidad del material aumenta.

Tabla 4.6: Propiedades físicas de copolímeros de poli (butirato-co-valerato)

PHB co HV (% en mol de HV)	Punto de fusión (°C)	Transición vítrea (°C)	Modulo de Young (GPa)	Fuerza de tensión (MPa)	*Fuerza de impacto izood (J/m)
0	179	10	3.5	40	50
3	170	8	2.9	38	60
9	162	6	1.9	37	95
14	150	4	1.5	35	120
20	145	-1	1.2	32	200
25	137	-6	0.7	30	400

\*Cortes de 1 mm

Fuente: Almeida et al., 2004.

Además del su origen biosintético de los copolímeros de PHBV, se suman a estos materiales, un cierto número de propiedades interesantes, en relación a los polímeros sintéticos. Al haber sido producidos por bacterias, estos materiales termoplásticos

también pueden ser degradados por bacterias, colocándose entre los pocos completamente biodegradables. Otro efecto de sus orígenes biosintéticos, es la actividad óptica, significando que las películas o soluciones de PHBV pueden rotar el plano de luz polarizada que incide sobre ellos. Esto se debe a que el carbono  $\beta$  en todo monómero en una cadena PHB o PHBV tiene una configuración R absoluta, por lo que, el polímero es perfectamente isotáctico y puede alcanzar un alto nivel de cristalinidad. Estos cristales no tienen centro de simetría, resultando en un cambio en la dirección del momento dipolo promedio si los cristales son deformados en una dirección específica, por lo que se produce una polarización tal que se genera una carga superficial en respuesta a la deformación bajo esfuerzo cortante. Estos materiales generan voltaje cuando son comprimidos, o se deforman cuando se les aplica voltaje. Esta propiedad es conocida como piezoelectricidad, y es típica de muchos sistemas biológicos, pero no usualmente de plásticos.

#### 4.3.6 Degradación (Hocking y Marchessault, 1994)

La razón principal por el interés general de los PHAs, es su biodegradabilidad. Ya que habiendo sido hechos por bacterias, pueden ser completamente degradados a dióxido de carbono y agua por la acción bacteriana continua. Los procesos de biodegradación se dividen en dos categorías: a) intracelular y b) extracelular.

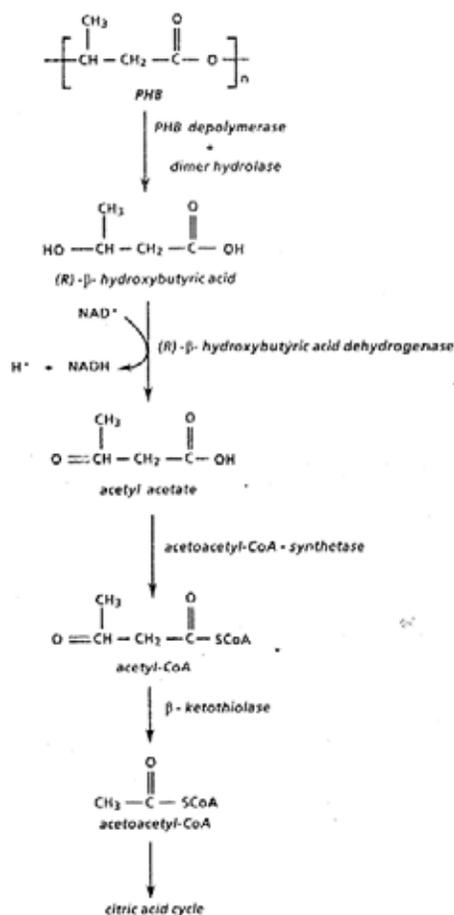
También son de interés para los procesadores y usuarios de artículos hechos de PHAs los procesos de degradación no-biológicos, así como su estabilidad térmica e hidrolítica. Se han reportado numerosos estudios de la biodegradación de materiales PHBV bajo diferentes condiciones ambientales.

#### **Biodegradación intracelular**

Estudios de degradación se han realizado sobre *Bacillus megaterium* con extractos de *Rhodospirillum rubrum* y sobre *Alcaligenes eutrophus*, *Zoogloea ramigera* y *Azotobacter beijerinckii*. Generalmente, estos procesos son más desconocidos que la biosíntesis, pero la trayectoria más conocida para la degradación intracelular es la que se ha representado en la figura 4.13, la cual se combina con el camino biosintético

mostrado en la figura 4.12, para formar el ciclo completo del metabolismo del PHB. El PHB es despolimerizado por una enzima PHB-despolimerasa, frecuentemente en conjunción con una dímero hidrolasa, para dar ácido R-β-hidroxibutírico. Este ácido es oxidado por una enzima deshidrogenasa para dar un acetilacetato, el cual es esterificado a acetoacetyl-CoA por una enzima acetoacetyl-CoA-sintetasa. Este es degradado por acetil-CoA por una reacción retro-Claisen catalizada por una enzima β-cetotiolasa; esta enzima es la única usada tanto en la biosíntesis como en la biodegradación, y se puede involucrar en la regulación de los dos caminos. En presencia de oxígeno, el acetil-CoA puede entrar al ciclo del ácido tricarbóxico (también conocido como el ciclo del ácido cítrico) para ser completamente oxidado a dióxido de carbono, con la correspondiente liberación de energía (Hocking y Marchessault, 1994).

Figura 4.13: Degradación intracelular de PHB



Fuente: Hocking y Marchessault 1994

### **Biodegradación extracelular.**

Por liberación de enzimas de despolimerasa en el medio, algunas bacterias, semejantes a *P. lemoignei* o *Alcaligenes faecalis*, pueden crecer sobre PHA extracelular. La despolimerasa degrada el polímero en oligómeros, principalmente dímeros. Una dímero hidrolasa es producida intracelularmente o es liberada o excretada (extracelularmente) junto con la enzima despolimerasa la cual degrada subsecuentemente estos oligómeros a unidades monoméricas. La despolimerasa aislada a partir de *Comamonas sp.* parece tener un mecanismo diferente de hidrólisis de PHB, ya que el producto directo de la hidrólisis de PHB por la enzima purificada es  $\beta$ -hidroxibutirato.

La despolimerasa producida por *P. lemoignei* muestra ser una exoenzima, excretada en pequeñas cantidades durante la fase de crecimiento pero principalmente al cesar éste. La presencia del producto de hidrólisis, ácido  $\beta$ -hidroxibutírico, también suprime la excreción de la enzima. La despolimerasa ha sido purificada en cuatro enzimas separadas, cada una de las cuales fue capaz de hidrolizar PHB y sus oligómeros, pero incapaz de degradar al éster dimérico. El análisis de los productos de hidrólisis permite llegar a la conclusión de que la despolimerasa tiene más afinidad con la terminal hidroxilo que con el carboxilo de los oligómeros, y que el desdoblamiento de los grupos éster ocurre siempre en el segundo y tercer enlace a partir del grupo terminal hidroxilo (Hocking y Marchessault, 1994).

### **Degradación térmica**

Se requiere entender la degradación térmica de los PHAs para diseñar el proceso para minimizar los daños estructurales. El mecanismo de degradación térmica de PHAs es bien entendido en términos del rearrreglo McLafferty; en efecto, el PHBV es susceptible a rompimientos térmicos, producido mediante pirolisis a ácido crotónico en aproximadamente un 90%. Para controlar este aspecto de degradación durante el proceso son necesarios aditivos adecuados; sin embargo, es necesario tomar precauciones si los productos de PHBV van a ser expuestos a periodos prolongados de calor. Los estudios sobre degradación térmica de PHB fueron reportados por Morikawa, Marchessault y también por Hauttecoeur. Estos estudios recalcan la degradación

controlada para obtener oligómeros con dobles enlaces terminales en lugar de la hidrólisis.

Un estudio detallado sobre degradación térmica de PHB identificó los productos volátiles de la degradación. Cuando se calentó de 0 a 338 °C bajo vacío, el PHB libera ácido isocrotónico (0.9%), ácido crotónico (35.2% en peso) y el dímero (41.2% en peso), trímero (12.5% en peso) y tetrámero (2.9% en peso) de PHB. Cuando el calentamiento se continúa hasta 500 °C, se observan trazas (4% en peso) de los productos de degradación de estos volátiles: dióxido de carbono, propeno, ceteno, acetaldehído y  $\beta$ -butirolactona. Mediciones de la pérdida de peso molecular de PHB durante la degradación isotérmica 170-200 °C mostraron que la degradación térmica ocurre a través de un proceso de rompimientos al azar involucrando la descomposición de un anillo éster de seis miembros similar a la reacción Chugaev. Esta reacción da un incremento en el peso molecular en las etapas tempranas del proceso de degradación (Hocking y Marchessault, 1994).

### **Degradación hidrolítica**

Como las bacterias y el hongo que utilizan PHB no están presentes en el cuerpo humano, la degradación *in vivo* debe proceder por otras rutas, tales como la hidrólisis. Esta puede ser catalizada por enzimas del sistema inmune del cuerpo. La degradación hidrolítica de PHB y PHBV ha sido estudiada tanto “*in vivo*” como “*in vitro*”. Estudios *in vitro*, de la rapidez de degradación de una solución y películas de PHBV obtenidas por colado y por fundido en un medio amortiguador de fosfato mostraron un aumento en la rapidez de degradación al incrementarse el contenido de HV, o al aumentar la temperatura. El proceso de fusión previo afectó significativamente la rapidez de degradación hidrolítica. Aunque el peso de muestras y la resistencia a la tensión permanezcan constantes por varios meses, la modificación superficial y el incremento en porosidad de la matriz ocurrida durante este tiempo permite después la degradación acelerada. Estudios de degradación *in vivo* de monofilamentos de PHB mostraron que el material debe ser predegradado con 10 Mrad  $\gamma$ -irradiación. El incremento del contenido de HV en los copolímeros de PHBV no incrementa la rapidez de degradación *in vivo*, y aún retarda la rapidez de hidrólisis a altas temperaturas.

Estudios de la degradación heterogénea de películas de PHB y PHBV (68% en mol de HV) en un medio amortiguador confirmaron que el rompimiento de cadenas al azar se lleva a cabo tanto en dominios cristalinos como en los no cristalinos. Se ha sugerido el proceso hidrolítico en dos etapas: rompimiento al azar las cadenas lo que da lugar a la disminución en el peso molecular, causando una pérdida de peso de las películas por debajo de un peso molecular de 13 000. El incremento en la cristalinidad conforme procede la hidrólisis se explicó debido a la cristalinización de fragmentos de cadena en regiones amorfas hidrolizadas; es decir la hidrólisis preferente de cadenas en las regiones amorfas deja una mayor cantidad de cadenas en las zonas cristalinas. Un estudio de degradación hidrolítica posterior sobre fibras de PHBV (14% de HV) mostró que la resistencia a la tensión de las fibras solo comenzaba a decrecer cuando el peso molecular era inferior a 70 000; alcanzando un valor de cero cuando el peso molecular era alrededor de 17 000; el peso de la fibra disminuía solo cuando el peso molecular era inferior a 17 000.

Estudios recientes sobre la hidrólisis de PHB en una solución 1N de HCl a 104.5 °C han mostrado que el ácido ataca a las uniones éster tanto a la coraza cristalina como el núcleo amorfo. Durante las primeras seis horas, la pérdida de peso fue moderada y la cristalinidad aumenta regularmente; después de este tiempo, la rapidez de la pérdida de peso es casi constante y disminuye la cristalinidad. Fue notable en este estudio, la retención de la textura del gránulo después de un desdoblamiento extenso de cadena, y una alta cristalinidad después de la hidrólisis del residuo (Hocking y Marchessault, 1994).

### **Degradación ambiental**

La gran relevancia para los usuarios de los artículos de PHB y PHBV, es la rapidez de la degradación de estos artículos bajo diferentes condiciones ambientales. La biodegradación normalmente procede vía ataque superficial por bacterias, hongos y algas. Estos organismos pueden excretar enzimas extracelulares que solubilizan la superficie de PHB sobre la cual se desarrollan. Los productos solubles de degradación son entonces absorbidos a través de la pared celular y metabolizados. La importancia del ataque superficial y la rapidez de la biodegradación dependen en parte sobre la

facilidad de colonización superficial. El área superficial y el espesor son importantes, ya que según sea la textura superficial en ciertos casos las colonias bacterianas pueden ser lavadas fácilmente de superficies uniformes.

La degradación real a veces depende del medio involucrado, así como del espesor del artículo. Estos factores controlan la demanda biológica de oxígeno y el suministro de nutrientes esenciales para el crecimiento microbiano, tales como nitrógeno y fósforo. Estudios realizados en diferentes ambientes muestran que la velocidad de degradación de PHB decrece progresivamente en medio anaeróbicos tales como aguas fecales anaerobias, suelos muy húmedos, sedimentos de agua de mar, aguas fecales aerobias y agua de mar. Tanto en pruebas *in vivo* como *in vitro* se observaron velocidades de degradación lentas (superiores a los 70 días).

Una película de PHBV enterrada en un suelo húmedo ( $C^{14}$  marcado); perdió aproximadamente el 50% de carbono contenido en forma de  $CO_2$  en un espacio de 16 semanas. Una moldura de resina de espesor de 1 mm probada como pastilla se reportó destruida completamente en un espacio de seis semanas en aguas fecales anaerobias; este tiempo se incremento a 60-70 semanas en aguas fecales aerobias y suelo a 25 °C, y a 350 semanas en agua de mar a 15 °C. Películas para empaque de 50  $\mu m$  de espesor son totalmente degradadas en 1-2 semanas en aguas fecales anaerobias, 7 semanas en aguas fecales aerobias, 10 semanas en un suelo a 25 °C y 15 semanas en agua de mar a 15 °C. Una botella de champú moldeada hecha de PHBV se degrada casi completamente después de 15 semanas en una pila de composta. En rellenos sanitarios se tiene una degradación significativa en 40 semanas.

Dado que el PHBV se degrada bajo tal gran variedad de condiciones, la pregunta pertinente es ¿Cuál será su vida de anaquel?. Afortunadamente, la velocidad de degradación de PHB en aire húmedo es insignificante, teniendo una duración aceptable en un anaquel. Lo más serio es la falta de procedimientos de pruebas estandarizadas para la evaluación de biodegradación lo que hace difícil poder comparar resultados de diferentes investigadores que trabajan en condiciones diferentes sobre distintos tipos de muestras. Esta limitación puede ser resuelta, utilizando PHBV como uno de los

materiales patrones de referencia para así poder correlacionar pruebas a escala laboratorio. De este modo, otros materiales degradables tipo poliéster, pueden ser calibrados al compararlos con muestras de referencia de PHBV. Resultados preliminares indican que entre todos los termoplásticos biodegradables, solamente poli( $\epsilon$ -caprolactona) degrada a la misma velocidad que el PHB. (Hocking y Marchessault, 1994)

Bucci et al. publicaron en 2007 un estudio sobre la evaluación de la biodegradación de recipientes elaborados de PHB bajo diferentes condiciones de biodegradación, llegaron a la conclusión de que es posible envasar alimentos en este tipo de envases.

Figura 4.14: Fotografías de PHB sometido a dos ambientes de degradación



Fuente: Bucci et al., 2007. De izquierda a derecha, la primera fotografía corresponde al tiempo cero, la segunda corresponde a un tiempo de 180 días en un medio de estiércol y la tercera corresponde a un tiempo de 60 días en un medio anaerobio.

#### 4.3.7 Aplicaciones (Hocking y Marchessault, 1994)

Se han contemplado una gran variedad de aplicaciones para el PHB y PHBV, gracias al amplio intervalo de propiedades especializadas de estos materiales. Aunque el interés primario en estos materiales fue debido a su biosíntesis a partir de recursos renovables y por lo tanto independientes de la petroquímica, sin embargo, el interés más general está relacionado a su biodegradabilidad. Esto permite la reducción de desperdicios, así como la creación de materiales con un mayor valor agregado ya que la degradación es la característica funcional del producto. La quiralidad del polímero permite también usarlo en aplicaciones más comunes, tales como bloques quirales en síntesis orgánicas.

Una de las aplicaciones más para PHBV es como un sustituto biodegradable para recipientes de poliolefinas, películas de plástico y bolsas. El primer uso comercial del PHBV fue desarrollado por Wella AG, Darmstadt (Alemania) los cuales han desarrollado una botella, moldeada por inyección-soplado, para empacar un shampoo de cabello biodegradable. PHBV también ha sido usado para recipientes de aceite de motor y mangos desechables para navajas de afeitar. Tales aplicaciones de PHBV son particularmente una ventaja en artículos difíciles de separar por reciclado, tales como películas de cocina, servilletas y toallas sanitarias.

Las propiedades de PHBV, como barrera para gases permiten aplicaciones en empaqueo de alimentos, o como un reemplazo para poli (tereftalato de tileno) para botellas de plástico en bebidas. Esta propiedad de barrera también permite que se puedan utilizar como recubrimiento de papel o cartón, tales como envases para leche tipo "tetrapack". El revestimiento de polietileno usado generalmente para estos propósitos es no biodegradable, previendo además la degradación del cartón y el reciclado rutinario de los componentes fibrosos; el material recubierto con PHBV muestra ser completamente biodegradable y también más fácil de reciclar que el "tetrapack" de papel convencional.

Una técnica poco usual de electrodeposición de polvos, ha sido utilizada para depositar PHB sobre substratos de baja constante dieléctrica como el papel. El papel adherido electrostáticamente se funde posteriormente y es calandreado para producir una película con propiedades de barrera contra gases de alta transparencia. La adhesión de ésta capa es muy superior a la película laminada en fundido. La deposición del polvo y la biodegradación son objeto de una patente reciente para el uso de PHBV como tóner de xerigrafía, las dificultades para el desprendimiento de tintas plásticas en papel se facilita por métodos químicos y enzimáticos, durante las operaciones de reciclado de papel.

Aplicaciones más especializadas del PHBV incluyen liberación controlada, donde se requiere la biodegradación mientras el artículo está en curso, como el *Alcaligenes eutrophus*, organismo usado para la producción comercial de PHBV, fue el primero en

ser aislado desde el suelo, el PHBV, es naturalmente adecuado para aplicaciones en la agricultura donde se requiere su biodegradación en el suelo. Por ejemplo, insecticidas incorporados dentro de gránulos de PHBV y esparcido con la segadora serían liberados a una velocidad variable relacionada con el nivel de actividad de la plaga, como las bacterias degradan el polímero, este será afectado por los mismos factores ambientales que las plagas del suelo. Similarmente, como el PHBV se degrada bien en el estómago del ganado, este puede ser usado como una matriz biodegradable para liberación de fármacos en medicina veterinaria.

Figura 4.15: Recipientes elaborados a partir de PHB



Fuente: Bucci et al., 2007.

El PHBV también puede ser usado internamente en humanos, como el polímero mismo es no tóxico y compatible con el organismo vivo, y el único producto de degradación es el ácido R- $\beta$ -hidroxibutírico, el cual es un metabolito normal en mamíferos, encontrado en concentraciones de 3-10mg/100 ml de sangre en humanos adultos saludables. También se ha detectado PHBV de bajo peso molecular unido principalmente a albúmina pero también a lipoproteínas de baja densidad, en el suero sanguíneo humano. Estudios de pacientes obesos sufriendo hambre terapéutica han mostrado que el  $\beta$ -hidroxibutirato de sodio puede ser usado como una fuente de carbono vía intravenosa u oral; mejorando la conservación de proteínas en el cuerpo, sin reducir la rapidez de pérdida de peso. Un derivado acilo del polímero se ha patentado para utilizarlo como emulsificante de alimentos o auxiliar en la elaboración de mantequilla.

Para aplicaciones de liberación controlada de fármacos en medicina, el PHBV se puede utilizar no como una pastilla, sino como microcápsulas, las cuales se inyectan

subcutáneamente como una suspensión o como un comprimido que se administra oralmente. Como un material médico, un rasgo más del PHBV que es muy biocompatible, produciendo una respuesta extremadamente ligera del organismo, y que la rapidez de biodegradación in vivo es lenta. Por ejemplo, un monofilamento de sutura quirúrgica requeriría varios años para ser totalmente reabsorbido por el cuerpo; como el tiempo tomado por la biodegradación es relacionado al área superficial, suturas de multifilamentos o microcápsulas se absorben mucho más rápido.

Aplicaciones típicas de PHBV en hospitales podrían ser como limpiadores quirúrgicos, polvos para heridas y polvos lubricantes para guantes de cirujano. Se ha propuesto una membrana compatible con la sangre. ICI ha desarrollado un proceso de hilado centrífugo para hacer productos de algodón semejantes a la lana y gasas a partir de una solución concentrada de PHBV; tratadas después con surfactantes biocompatibles, las fibras intrínsecamente hidrofóbicas, las cuales son muy semejantes a la lana- algodón absorbente. Como quiera, a diferencia de las fibras de algodón, las partículas de fibras de PHBV de las gasas o de algodón pueden ser dejadas sin afectar la herida, ya que son biodegradables.

Un uso de alta tecnología futurística de PHBV podría ser como injertos vasculares o vasos sanguíneos, compuesta de fibras muy finas arregladas para formar un tubo impermeable al agua de diámetro interno adecuado, actuaría como un entablillado para nuevos tejidos en desarrollo, siendo completamente remplazado por tejido natural. Esto evitaría el problema de formación de trombos y bloqueo eventual de arterias sintéticas, lo cual se debe a la respuesta del organismo a los cuerpos extraños no degradables en las paredes vasculares. Se han desarrollado ya implantes quirúrgicos de PHB y PHBV para conexión de partes del cuerpo tubulares, así como hojas o resortes de PHBV para separar tejidos en las heridas. (Bucci et al. 2007; Bucci et al. 2005; Petersen et al., 1999; Hocking y Marchessault, 1994)

#### ***4.4 TENDENCIAS ACTUALES EN EL BIOENVASE DE ALIMENTOS TOS (Haugaard et al. 2000).***

---

El uso de materiales de fuentes renovables en alimentos depende de la disponibilidad, cantidades, precios y propiedades de los materiales. Hasta la fecha, considerables recursos han sido asignados para investigar los desarrollos y estudios a escala, pero el uso de los materiales de envasado de fuentes renovables en la industria de alimentos es relativamente limitado. Las consideraciones técnicas del envase, además de los aspectos de mercadotecnia son criterios importantes cuando se selecciona un determinado material o técnica. Estos criterios son ilustrados por numerosos estudios factibles que se llevan a cabo por pequeñas o grandes compañías de alimentos que consideran aspectos técnicos y de mercado. Sin embargo, los estudios son confidenciales y consecuentemente no son conocidos por todos.

La literatura indica que las aplicaciones de los envases primarios, secundarios y terciarios están bastante limitados. Esto se puede deber al corto tiempo que los materiales que han sido disponibles para pruebas y también debido al hecho que las pruebas específicas de consumo no están disponibles para el público.

Muchas de las aplicaciones en los materiales de alimentos de recubrimiento han sido investigadas y probadas a través de los años. La mayoría de estas investigaciones han sido compromisos en ambientes académicos; el hecho es reflejado en el volumen de publicaciones de artículos científicos sobre películas comestibles y de recubrimiento, comparado con el limitado número de patentes relacionados con la industria.

Los productores de materiales de recubrimiento de alimentos no consideran todavía a los biopolímeros como de interés comercial porque los materiales de recubrimiento, por sí mismos, forman una minoría de los productos alimenticios (típicamente 0.001 – 0.01%), y la aplicación de los materiales comestibles o películas requieren una extensión de la línea de proceso con aspersado; sumergido en alguna unidad de recubrimiento.

No todas las fábricas tienen instalaciones para la extensión o costo adicional para los

equipos de recubrimiento, el cual es alto comparado con el beneficio obtenido con el recubrimiento. Entonces, mientras muchas aplicaciones de recubrimientos/películas de alimentos han sido investigadas e identificadas por ser muy interesantes desde el punto de vista académico. Aunque ha habido indudablemente algunas aplicaciones comerciales exitosas cuando son usadas a gran escala e implementadas en la industria de alimentos, la lista de aplicaciones es bastante limitada (Haugaard et al, 2000).

#### ***4.4.1 Investigaciones relacionadas con biopolímeros y bioenvase de alimentos***

---

Hemos creado este apartado que nos proporciona una panorámica de las investigaciones recientes con temas relacionados a los biopolímeros y al bioenvase de alimentos, para esto hemos clasificado la información en tres grupos:

- 1) Fuentes alternativas de biopolímeros. Identifica los materiales sobre los que se desarrolla investigación, no solo de los materiales descritos sino también de otras moléculas (proteínas, polisacáridos, lípidos) (ver tabla 4.7).
- 2) Materiales para aplicarse en envases activos. Identifica los materiales que si bien por si solos no podrían ser empleados en envase primario, secundario y terciario; pueden contribuir al desarrollo de nuevos envases activos, que permiten una mejor tecnología de envasado (ver tabla 4.8).
- 3) Compuestos y nanocompuestos. Identifica el desarrollo de materiales compuestos y nanocompuestos que mejoran las propiedades de los materiales tradicionales y los nuevos materiales desarrollados para futuras aplicaciones no tan solo en el área de envasado de alimentos (ver tabla 4.9)

Estas investigaciones son de importancia ya que los temas descritos proponen aplicaciones futuras; pero están en desarrollo. Contrastan los materiales de objeto con los que describimos en este trabajo pues nosotros nos enfocamos en los que de alguna forma ya tienen un desarrollo más amplio e incluso se han comercializado ya en en mayor escala.

La limitante es en gran medida la disponibilidad de información, tanto para materiales con un interés industrial mayor y los que se encuentran en desarrollo.

Tabla 4.7 : Fuentes alternativas de biopolímeros

<b>Material o tema</b>	<b>Descripción</b>	<b>Autor</b>
Carragenina	Película comestible, que tiene buenas propiedades mecánicas, estabiliza emulsiones, reduce transferencia de oxígeno; al adicionarle lípidos disminuye la transferencia de agua y con esto pueden ser consideradas para encapsular sustancias activas, en particular en el área de alimentos, sabores.	Hambleton et. al, 2008
Gelatina de cuero de cerdo	Las películas de gelatina de cuero de cerdo son empleadas principalmente en ingeniería de alimentos, envase y recuperación de fármacos, al adicionar glicerol como plastificante se afectan las propiedades de la película. La propiedades que se alteran son: flexibilidad, humeado y las interacciones entre las cadenas de las macromoléculas.	Bergo y Sobral, 2007
Zeína, una prolamina del maíz.	Película comestible hecha de una prolamina del maíz (zeína), plastificada con diferentes niveles de polioles (sorbitol, glicerol y manitol). Los diferentes plastificantes y la cantidad en que se agregan tienen diferentes efectos sobre las propiedades de la película.	Ghanbarzadeh et al 2007
Pectina/proteína (Foeniculum vulgare/ phaseolin)	Desarrollo de un nuevo material para la elaboración de películas, consiste en un material elaborado por medio de pectinas de Foeniculum Vulgare y proteínas de Phaseolin, se presentan condiciones para la preparación.	Giosafatto et al 2007
Gelatina/Plastificante	Se somete una película formada por gelatina y un plastificante a diferentes humedades relativas, encontrándose una mayor sensibilidad por parte del polímero y esto es evaluado con por medio de resonancia magnética nuclear.	Kim et al, 2007
Gelatina/carragenina	Sugiere la formación de un complejo de proteína-polisacárido al someter a radiación ionizante una película formada por gelatina y carragenina.	Aliste y del Mastro, 2006
Almidón/fibras de celulosa, quitosan, gelatina	Las películas hechas de almidón mejoran sus propiedades al hacer diferentes mezclas con otros biopolímeros (fibras de celulosa, gelatina o quitosan), se pueden emplear en la industria del envase de alimentos, recubrimientos agrícolas y la industria médica.	Ban et al, 2006

Continuación de Fuentes alternativas de biopolímeros.

<b>Material o tema</b>	<b>Descripción</b>	<b>Autor</b>
Alginato o proteína de soya como recubrimiento en cartón	Los cartones empleados en la elaboración de cajas son recubiertos con biopolímeros (alginato o proteína de soya), esto mejora y perjudica diferentes propiedades de los mismos dependiendo del biopolímero aplicado. (26)	Rhim et al., 2005
Keratina obtenida de plumas de aves	Desarrollo de una película de keratina (obtenida de plumas de aves) y glicerol como plastificante, estas películas presentaron propiedades mecánicas similares a las de los polímeros sintéticos comúnmente usados. En este estudio se menciona que las películas de keratina tienen aplicaciones potenciales como materiales amistoso al medio ambiente al ser empleados como materiales de envasado en alimentos o películas de recubrimiento.	Barone et al. 2005
Kafirina, prolamina de sorgo.	Desarrollo de una película a base de kafirina (prolamina de sorgo) adicionándole ácido tánico y condensado de taninos. Los resultados presentan que se mejorara fuerza de tensión y el modulo de Young. No cambia la permeabilidad al vapor de agua pero decrece la permeabilidad al oxígeno.	Emmambux et al., 2004
Proteína de cacahuete	Desarrollo de películas de proteína de cacahuete, mejorándole sus propiedades por medio de tratamientos físicos (desnaturalización de la proteína por medio de diferentes temperaturas, irradiación UV y ultrasonido) y tratamientos químicos (adición de aldehídos y de anhídridos).	Liu et al. 2004
Quitosan como recubrimiento en cartón	Se utiliza el quitosan como recubrimiento de cartones para mejorar las propiedades del material (brillo, barrera al oxígeno, propiedades mecánicas).	Vartiainen et al. 2004
Películas de proteína de soya	Película de proteína de soya con mejoras por medio de escaldado térmico. El tratamiento altera propiedades (permeabilidad al vapor de agua, color, fuerza de tensión y elongación).	Kim et al., 2002
Películas de proteína de soya	El uso de las películas basadas en proteínas de soya se encuentra limitada por su sensibilidad a la humedad. El autor propone un método para controlar la absorción de humedad, al controlarse esto el material puede ser empleado como material de cirugía y como envase de alimentos.	Otaigbe, 1998

Tabla 4.8: Materiales para emplearse en envases activos.

<b>Material o tema</b>	<b>Descripción</b>	<b>Autor</b>
Mezcla de PLA/Nisin	Material de envase de alimentos que es obtenido al distribuir en la matriz del polímero de PLA un bactericida natural (Nisin), la efectividad del material es probada en medios de cultivo y en alimentos líquidos (Jugo de naranja, huevo líquido).	Jin y Zhang, 2008
Materiales de envase de alimentos/ biocatalizadores	Inclusión de biocatalizadores en plásticos sintéticos y biopolímeros, empleados en el envasado de alimentos; para contribuir en la preservación de alimentos procesados mínimamente. El biocatalizador se encuentra en la matriz polimérica y puede ser liberado de manera controlada hacia el producto.	Fernandez et al., 2008
PLA/Pectina/ Nisin	Material a base de PLA compuesto con Pectina por extrusión y cargado con nisin el cual actúa como agente natural bactericida. Se encuentra que cantidades elevadas de pectina no alteran ciertas propiedades importantes (fuerza de tensión, flexibilidad) del PLA. Las cualidades de material hacen pensar en aplicaciones potenciales como material de envase con propiedades antimicrobianas.	Liu et al, 2007
Revisión general de biopolímeros	Materiales de envase que previenen la pérdida de humedad, reducción de la oxidación de lípidos, mejoran los atributos de sabor, retención de color y estabilidad microbiana, dichos materiales pueden ser aplicados al envasado de productos cárnicos frescos o procesados.	Cutter, 2006
Revisión general de bioenvases activos en alimentos funcionales	Revisión sobre biomateriales activos para aplicarse y desarrollar alimentos funcionales. Los materiales mencionados pueden ser usados como envase o recubrimiento. Menciona la tecnología para emplear estos materiales en la micro y nanoencapsulación; además de la encapsulación de enzimas, estas tecnologías se alían con los propiedades que exhiben los biopolímeros.	López-Rubio et al. 2006
Polipropileno recubierto con distintos biopolímeros	Desarrollo de películas recubiertas, tomando como base el polipropileno y recubriéndolo con diferentes polisacáridos (Quitosan, carragenina, metil celulosa, hidroxipropil celulosa, y dextrosa) con diferentes plastificantes (glicerol, sorbitol, entre otros); reportando en particular que las películas recubiertas con carragenina y adicionadas con nisin tienen propiedades antimicrobianas.	Hong et al., 2005

Continuación de Materiales para emplearse en envases activos.

<b>Material o tema</b>	<b>Descripción</b>	<b>Autor</b>
Revisión de biopolímeros	Revisión general de biopolímeros empleados como material de envase en el sector de alimentos y películas comestibles con propiedades antimicrobianas.	Cha y Chinnan, 2004
Mezcla de quitosan e hidroxipropil celulosa,	Desarrollo de una película de quitosan e hidroximetilcelulosa con propiedades antimicrobianas por la naturaleza de los componentes, además de que al adicionar ácido estérico se disminuye la sensibilidad a la humedad. Este material puede ser ocupado en el sector de alimentos.	Moller et al., 2003
Quitosan como recubrimiento en cartón	Se utiliza el quitosan como recubrimiento de cartones para mejorar las propiedades del material (brillo, barrera al oxígeno, propiedades mecánicas). Para la aplicación del quitosan es disuelto en diferentes ácidos, al emplear ácido láctico se observan propiedades antimicrobianas.	Vartiainen et al. 2004
Quitosan como material de envase para conservar alimentos	Desarrollo de material de envase a partir de quitosan para conservar alimentos de origen marino. El quitosan actúa no solo como antimicrobiano si no también deteniendo el deterioro químico de los productos del mar.	Jeon et al., 2002
Biopolímeros (Lípidos, proteínas, polisacáridos)	Revisión sobre materiales comestibles y/o de envase elaborados a partir de biopolímeros (proteínas, polisacáridos y lípidos; pueden estar o no plastificados) que pueden ser ocupados para prevenir en los alimentos cambios fisicoquímicos, microbiológicos y fisiológicos.	Guilbert et al., 1997

Tabla 4.9: Compuestos y nanocompuestos

<b>Material o tema</b>	<b>Descripción</b>	<b>Autor</b>
Almidón/proteína/silicatos	Bionanocompuestos basado en biopolímeros (almidón y proteína) y silicatos. Los biopolímeros mejoran sus propiedades mecánicas, propiedades de barrera al vapor de agua y estabilidad térmica sin afectar su biodegradabilidad al adicionárseles silicatos. Reconoce que los materiales están en su infancia pero que en un futuro podrían tener una amplia gama de aplicaciones.	Zhao et. al., 2008
PHB/PCL/silicatos	El PHB ve reducida su permeabilidad al oxígeno cuando le es adicionado PCL, sin embargo los resultados con silicatos no son satisfactorios ya que pueden afectar la estabilidad térmica del producto y las propiedades de permeabilidad al oxígeno.	Sánchez et al., 2008
Biopolímeros/silicatos	Las deficiencias de las propiedades de los biopolímeros (polisacáridos y proteínas) son mejoras al incluir dispersiones de silicatos, al contar con esta mejora se amplían los usos potenciales.	Rhim y Ng, 2007

Continuación de Compuestos y nanocompuestos..

<b>Material o tema</b>	<b>Descripción</b>	<b>Autor</b>
Nanocompuestos de PET, PLA, PHB, PHBV, PCL	Comparación entre nuevos nanocompuestos de PET con los tradicionales nanocompuestos de PLA, PHB, PHBV y PCL. Menciona que los polímeros nanocompuestos pueden tener una aplicación potencial en aplicaciones de envase de alimentos.	Sanchez-García et al, 2007
Polipropileno recubierto con distintos biopolímeros	Desarrollo de películas recubiertas, tomando como base el polipropileno y recubriéndolo con diferentes polisacáridos (Quitosa, carragenina, metil celulosa, hidroxiparametil celulosa, y dextrosa) con diferentes plastificantes (glicerol, sorbitol, entre otros); reportando en particular que las películas recubiertas con carragenina y quitosa tienen mejores propiedades y estas pueden ser aplicadas en el sector de alimentos.	Hong et al., 2005
Película de alcohol etilvinílico, PLA y nanoarcillas	Desarrollo de un material compuesto de alcohol etilvinílico (EVOH) y nanoarcillas, se obtuvo un material con propiedades que se puede aplicar en envasado de alimentos pero falta evaluar la migración de los compuestos de la película a la matriz alimentaria.	Lagaron et al., 2005
Compuestos de PVA y biopolímeros	Desarrollo de materiales compuestos de Poli (vinil alcohol) y biomateriales con el propósito de crear materiales de recubrimiento, laminas y materiales de envase para emplearse en la industria de alimentos o agricultura.	Chiellini et al., 2004

# CONCLUSIONES

---

El desarrollo en ciencia y tecnología el envase es indicativo del nivel de progreso en una sociedad. Sociedades con un mayor desarrollo y utilización de envases garantizan emplear los alimentos en exceso, comunes en temporada; y garantizar su disponibilidad en periodos de escasez, además de un intercambio comercial de sus productos con el exterior.

Nuestro país así como otros del orbe presenta problemas con su gestión de residuos. La gran mayoría de nuestros residuos es recolectada (87%), pero hay un porcentaje importante que queda disperso, contaminando nuestro medio ambiente y por consiguiente nuestra forma de vivir. En comparación con otros países, existe una marcada diferencia en la gestión de residuos. Ellos cuentan con programas más exitosos producidos principalmente por un mejor apoyo del gobierno y la sociedad. Consideremos que si bien cuentan con mejores sistemas de gestión de residuos hay que reconocer que generan una mayor cantidad de residuos. Por otra parte, la acumulación e incineración de residuos es una práctica común. La acumulación de residuos presenta problemas dado que no hay espacios ni recursos suficientes y la incineración representa un problema dado que contribuye a la contaminación del aire. Recordemos que en nuestros días un problema serio es el calentamiento global del planeta donde urge reducir nuestras prácticas contaminantes.

Reutilizar, reducir y reciclar representan sin lugar a dudas una opción sustentable a nuestra actual situación; sin embargo, no se cuenta con la difusión necesaria.

Los envases se han adaptado a nuestra forma de vivir a través de los tiempos, es momento de acelerar nuevas adecuaciones a aquel elemento que en gran medida nos ha permitido constituirnos y evolucionar en nuestra forma de alimentarnos. Hemos empleado materiales que nos permiten mejorar nuestra vida, pero también han traído

reacciones secundarias en las que se ha tenido que enfocar la preocupación de nuestra sociedad.

Los polímeros los encontramos como componentes esenciales de la vida; formando parte importante de la estructura de los organismos, desde los microorganismos hasta organismos con sistemas más complejos. El hombre en su aprender ha logrado utilizarlos de diferentes formas y en aplicaciones distintas.

Dentro del ámbito del envase vemos las primeras aplicaciones de polímeros en el papel y el cartón, ambos del mismo origen natural: la celulosa, que consiste en un polímero de glucosa, más tarde en épocas más recientes se descubrirá y utilizara el celofán, también a partir de la celulosa. Hasta ahora estos polímeros de celulosa son materiales muy difundidos en la aplicación de envase.

Diversos materiales se han empleado en la industria del envase; sin embargo en los últimos tiempos los polímeros sintéticos (plásticos) han tenido un auge importante debido a que reúnen ciertas características que les confieren ventajas sobre otros materiales.

En sí, los plásticos reúnen varias de las ventajas de los otros materiales. Pueden ser tan manejables como el papel, al poder crear sacos; permiten formar cajas como con el cartón; permiten ser grabados como el papel y el cartón. Los plásticos pueden ser tan resistentes como el metal o el vidrio sin ser tan pesados o frágiles como el último. Los envases hechos con polímeros sintéticos pueden diseñarse de tal forma que presenten las características de barrera, protección, forma y diseño deseados y, algo importante: son baratos y fáciles de producirse.

Los problemas ambientales a nivel global son un problema serio, los sistemas de gestión de residuos no son eficaces en su totalidad, resultan caros y no existe una voluntad generalizada en los diferentes niveles de la sociedad para una eficaz solución. La contribución a los residuos sólidos por parte de los plásticos dificulta el problema

dado que tardan mucho tiempo en reintegrarse al medio, las tecnologías de reciclado aún no son lo suficientemente adecuadas.

La tecnología y ciencia de los polímeros presenta un área fértil de oportunidades y del campo de investigación, si consideramos los puntos mencionados. Es necesario un uso racional de los polímeros sintéticos tradicionales con una adecuada concientización de los consumidores de estos materiales, se deben de desarrollar tecnologías que permitan mantener sustentable el reciclado de estos materiales y finalmente así como históricamente el desarrollo de polímeros nos han permitido resolver problemas; permitamos la evolución hacia materiales necesarios en nuestro futuro dadas las condiciones de nuestro presente.

El estudio y utilización de los polímeros naturales es un área de interés en ascenso. Las nuevas áreas de investigación traen consigo oportunidades para el desarrollo de materiales y aplicaciones. La inherente biodegradación de los biopolímeros puede permitir un control ambiental a partir de los polímeros empleados.

Los biopolímeros representan una opción sustentable para poder ser empleados como materiales de envase; sin embargo, el desarrollo en esta aplicación tiene que ser con el mayor cuidado posible para que cubran los requerimientos necesarios.

Los polímeros con mayor potencial de aplicación como materiales de envase de alimentos son el Poli (ácido láctico) y el Poli (hidroxibutirato); sin embargo, por el momento la investigación, información y aplicación de estos se encuentra muy limitada.

Los materiales se encuentran en una etapa de pleno crecimiento con el factor económico como limitante por su origen biotecnológico. Las investigaciones actuales se centran en la búsqueda de sustratos baratos, la selección de microorganismos más eficientes, procesos y desarrollos tecnológicos viables; todo esto en conjunto para proporcionar biomateriales que puedan ser aplicados en otras áreas.

Los biomateriales aplicados como materiales de envase de alimentos tienen que proporcionar las mismas ventajas que nos han otorgado los materiales comúnmente usados y asegurar la inocuidad a los consumidores.

En nuestro país hoy en día se discute a diferentes niveles, temas directa o indirectamente relacionados con el objeto de estudio de este trabajo. Hay una fuerte discusión sobre la forma en que deben de ser explotados nuestros recursos petroleros, pues hay una evidente disminución de los mismos. Contamos también con serios problemas en temas relacionados al campo y nuestra dependencia cada día mayor en cuanto a alimentos de procedencia extranjera. Finalmente no tan sólo en nuestro país existen problemas relacionados con el medio ambiente.

Debemos de tener una visión sistémica de los temas antes relacionados. Es posible la aplicación de los biopolímeros dentro del envasado de alimentos y se deben de aprovechar como una opción sustentable en nuestro país. Para esto es necesario impulsar la educación en los diferentes niveles de la sociedad, promover económicamente la investigación de estos temas en los centros correspondientes, escalar y transferir la tecnología para hacernos comercialmente competentes. Es necesario dar opciones a nuestra dependencia de los recursos del petróleo; incentivar la industria agrícola, donde los biopolímeros tomarían como materia prima los recursos del campo y al mismo tiempo ofrezcan una mayor competitividad e independencia de alimentos

De manera puntual podemos concluir que:

- El envase juega un elemento clave en el desarrollo de la sociedad, de manera particular en el área de alimentos nos permite en gran medida nuestra supervivencia y nuestro desarrollo comercial.
- Los polímeros de origen sintético aplicados en el área de envasado de alimentos nos han permitido un desarrollo vertiginoso pues sus características nos ayudan a mantener estable el producto cuando está dentro de este sistema.

- Los biopolímeros representan una opción sustentable a la problemática actual. Estos materiales, con el desarrollo adecuado, son aplicables en el área de alimentos y de manera particular en el envasado de los mismos.
- El poli (ácido láctico) es el producto de mayor interés comercial gracias al desarrollo de la ciencia y tecnología en el tema; mientras que poli (hidroxibutirato) tendrá que ser objeto de un mayor desarrollo para hacerlo más asequible.
- Existen otros materiales que en un futuro pueden tener una aplicación dentro del área de alimentos.

# ANEXO 1

## ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y DEFINICIONES DE ENVASE

---

---

### *A.1 EL ENVASE EN EL TIEMPO*

---

El envase puede ser estudiado como un documento antropológico-social que ha reflejado claramente la evolución y complejidad de la sociedad a través de los tiempos.

En las culturas antiguas el envase era utilizado como utensilio o recipiente doméstico, como vaso ritual para ofrecer oblacones religiosas, como depósito funerario y, principalmente como indispensable contenedor para llevar a cabo el comercio de productos de consumo.

Los museos de antropología del mundo dan muestra de estas manifestaciones que reflejan tanto el avance y dominio de las diversas artesanías como la alfarería, cestería y curtiduría; así como las diversas formas de vida de cada uno de los pueblos, representadas plásticamente sobre las superficies de muchas vasijas y recipientes (Celorio, 2003).

#### *A.1.1 Los orígenes*

---

Se dice que la historia comienza con la invención de la escritura en el tercer milenio A.C., pero ¿y el hombre anterior a ese acontecimiento? De él se ocupa la prehistoria, que abarca aproximadamente desde los 2 500 000 de años (sic.) que duró la edad de piedra, es decir, el Paleolítico, para detenerse hacia el 10 000, cuando comienza la edad de la piedra pulimentada o Neolítico. En los primeros tiempos, apenas podían apreciarse algunos rasgos de la humanidad en aquellos seres con primitivas habilidades que fueron transformándose, entre treinta y diez milenios atrás, hasta convertirse en lo que hoy se denomina *homo sapiens* (Vidales, 1999).

Al principio su única preocupación era sobrevivir y cubrirse de los intensos fríos; saciar su hambre y calmar su sed. El hombre sólo disponía para su alimentación de lo que cazaba o recolectaba. Se limitaba a comer lo que encontraba: frutos, raíces, plantas en general y huevos de ave. Los animales que cazaba eran sólo los que podía matar de forma rudimentaria, como serpientes, insectos, mariscos y pequeños animales de caza. Si ésta era abundante o la recolección generosa se saciaba, si no, se moría de hambre. Podría decirse que el hombre era fundamentalmente, recolector y cazador (Losada, 2000; Vidales, 1999; Cervera, 1998).

Esta actividad diaria que el hombre primitivo realizaba para abastecerse de alimentos, muestra la importancia para la historia del envase. El hombre tiene que agrupar lo que obtiene para su alimentación y lo hace posiblemente en un inicio con sus manos y cuerpo o bien con los elementos que cubren su cuerpo del medio ambiente y, en el mejor de los casos, empleando envases naturales; algunos obtenidos de animales (pellejos o cueros) y otros de vegetales (canutos de bambú, cocos, troncos y frutos secos) (Cervera, 1998).

Este es el surgimiento del envase primitivo; su función de inicio es contener y al llevarse ésta a cabo se desarrollaron otras, tales como protección y transporte. A pesar de que aún no cuenta con las diversas funciones que ahora se le atribuyen, podemos decir que es el antepasado del envase como actualmente lo concebimos.

Además, para facilitar las labores de recolección se crearon los primeros sacos; quizá de trozos de piel de animales cazados. Más tarde el hombre fue capaz de tejer tallos y hojas para formar las primeras redes y cestas lo que mejoraba el transporte y conservación de sus precarios alimentos. Aquel hombre primitivo consumió alimentos crudos hasta la aparición del fuego que marcó, mediante la cocción, un cambio significativo en sus hábitos alimentarios (Vidales, 1999).

Los envases en sus orígenes estuvieron marcados principalmente por la coexistencia de lo tradicional y lo funcional. El aspecto tradicional tiene dos características: la tendencia al uso de materiales naturales de cada región y la presencia de elementos y

objetos de culto, relacionados con ritos y actividades religiosas. En cuanto a lo funcional; encontramos canastas y cestos elaborados con varas, cortezas o tallos huecos; platos o bandejas fabricados con conchas o huesos de animales y envoltorios fabricados con hojas o tallos de diferentes tipos de plantas y pieles o membranas orgánicas de distintos animales (Losada, 2000).

Poco a poco con el mayor conocimiento que se tuvo del fuego y su posterior dominio, surgió la posibilidad de elaborar vasijas a partir de algún cesto recubierto de arcilla que por accidente haya quedado cerca de alguna fogata, para después manipular tierras y arcillas y moldear nuevos envases. Esta labor era desarrollada principalmente por mujeres, mientras que los hombres se dedicaban a la caza. Los cacharros se cocían muchas veces a cielo abierto, es decir, formando un montón de vasijas sobre la leña o bien colocándolas entre y encima de ésta. El inconveniente era que el calor producido afectaba de manera desigual a las piezas, perdiéndose muchas de ellas (Vidales, 1999; Cervera, 1998).

Con el tiempo la reproducción humana tuvo un crecimiento superior a la vegetal y animal, lo que ocasionó la escasez de la caza y de la recolección y obligó a los hombres a establecerse y desarrollar la agricultura. Esto por supuesto significó aumento de trabajo diario así como especialización y perfeccionamiento de su tecnología cazadora a fin de compensar el menor rendimiento, lo que supuso el desarrollo de lanzas, arpones, dardos y por último el arco y la flecha. Finalmente, al disminuir la caza y la recolección, tuvieron que volcar la mayor parte de sus esfuerzos al desarrollo de la agricultura.

La agricultura propició el desarrollo de diversos recipientes y contenedores. Los primeros de ellos fueron elaborados para conservar alimentos o bien para recolectar y conservar agua, además de contener y preservar semillas. Para alimentarse en temporada invernal debían conservar frutos y carne; preparar y acondicionar herramientas de trabajo, utensilios, vestidos y accesorios, entre otros (Losada, 2000).

Las condiciones de vida fueron modificándose en sentido favorable para dar paso a la civilización y su consecuente desarrollo derivado del uso de los recursos minerales que han marcado tal desarrollo. Esto puede verse claramente en la división que arqueólogos e historiadores han establecido para las distintas etapas de la evolución humana: prehistoria, Edad de Piedra, Edad de bronce y Edad del Hierro. Algunos autores han llegado a referirse al siglo XIX como la Edad del Carbón o del Acero y quizá la época actual pueda ser denominada del Cemento, o mejor aún, del Petróleo; para indicar la actual dependencia que existe de combustibles, químicos y polímeros derivados de dicho recurso (Vidales, 1999).

### *A.1.2 La evolución*

---

Cervera menciona que la historia del hombre es la historia de la lucha contra el hambre; y es evidente que nuestros antepasados se alimentaron de cualquier clase de productos naturales con los que satisfacían su apetito. Inicialmente la fuente fue la caza y recolección, posteriormente pasarían a la agricultura y al establecimiento de las primeras aldeas (que surgieron en Europa para almacenar granos) y después se dedicaron a la agricultura (Losada, 2000).

En este ir y venir se confeccionan los primeros envases a partir de elementos orgánicos; también se desarrollan los envases neolíticos con formas básicas, sin importar la región del mundo.

Desde el periodo prehistórico comenzaron los primeros intercambios de productos entre los pobladores de regiones cercanas como cambio de granos por minerales, frutos, pieles o cualquier cosa producida en aquellas épocas y junto con esta actividad surgió también la necesidad de envasarlos para facilitar su transportación y tener control de las cantidades que se negociaban.

El surgimiento de las grandes civilizaciones en la antigüedad, con influencias y desarrollos particulares, trajo consigo la producción de diversas manifestaciones culturales. La aplicación de envases fue una actividad importante para los pueblos

chinos, egipcios, griegos y mesoamericanos; quienes tuvieron la misma necesidad de conservar y envasar sus productos comestibles, medicinales y cosméticos (Vidales, 1999).

Así la historia del envase y embalaje va unida al de la humanidad y, por consiguiente, a la de su tráfico comercial. Desde la antigüedad el hombre necesitó explorar, descubrir, conquistar y comerciar. Con el tiempo se comprendió que las fuentes de riqueza se encontraban en el desarrollo del comercio y que la inmensa mayoría de las posibilidades de producción venían determinadas, en mayor o menor grado, por la existencia de materias primas procedentes del exterior.

El transporte marítimo permitió la comercialización de bienes entre diferentes grupos de hombres, lo cual exigía la utilización de técnicas de envasado, embalaje y distribución. Los fenicios, abandonaron la seguridad de su vida en tierra y se dedicaron a efectuar grandes navegaciones transportando mercancías egipcias y asirías.

En América, el transporte antes de la colonia se realizaba a pie por caminos y veredas a cargo de mensajeros que se relevaban en postas. El sistema era funcional y rápido gracias al benevolente clima y a la autosuficiencia alimentaría con la que contaba la región. La zona con mejores rutas fue la habitada por los mayas, con sus amplias calzadas blancas o *sacbé*s (Losada, 2000; Cervera, 1998).

Si bien el transporte de grandes distancias en América central se realizó a pie. Bernal Díaz del Castillo, relata en sus crónicas que en lo que hoy es la Ciudad de México se contó con un complejo sistema fluvial y de esclusas que evitaban la mezcla de los canales de agua dulce y agua salada. En este sistema existió una gran cantidad de canoas y barcas. Hay relatos que hablan de canoas donde cabían cómodamente hasta 60 personas (Citado por Losada, 2000).

Los chinos realizaron desde el siglo XI y hasta el XIV importantes travesías por mar en imponentes juncos con capacidad hasta de mil hombres. En estas épocas las flotas

árabes también navegaban y traficaban principalmente con los chinos y otros pobladores del extremo oriente.

En la antigüedad las provisiones y bastimentos que se embarcaban se encontraban, en la mayoría de los casos, en condiciones muy defectuosas por haber sido salados o adobados mucho antes de la salida de la expedición. A esta pérdida había que añadir la de la aguada, o provisión de agua potable que también se corrompía.

En la época de los descubrimientos, el agua se conservaba habitualmente en barriles o pipas de madera sin adoptar otra precaución que la de que no hubiese contenido anteriormente vino o vinagre; por otra parte los toscos envases cerámicos representaban un capítulo importante en la bodega de un buque.

Las penalidades que encontró Cristóbal Colón en su cuarto viaje a América en 1503, no deja lugar a dudas sobre la precariedad en la conservación de alimentos de aquella campaña que Bartolomé de las Casas describe en su obra titulada; *Historia de las Indias*: "... tenían ya falta de viandas, por haber ya ocho meses que andaba por la mar, y así consumiendo la carne y el pescado de España habían sacado, dello comido y dello podrido por los calores y bochornos y también la humedad que corrompe las cosas comestibles por estas mares. Prudrióseles tanto el bizcocho e hinchióseles de tanta cantidad de gusanos, que había personas que no querían comer o cenar la mazamorra que del bizcocho y agua puesta en el fuego hacían, sino de noche, por no ver la multitud de gusanos que de el salían y con el se cocían. Otros estaban ya tan acostumbrados por el hambre a comerlos que ya nos los quitaban, porque en quitarlos se les pasaría la cena, tantos eran..."

La humanidad se encontró ante la necesidad de envases con características que permitieran una mejor conservación de los alimentos, además de mayor dominio y perfeccionamiento de los métodos de conservación. El mundo resultó enorme y las distancias se contaban por días y meses; periodos muy largos. Únicamente los alimentos sometidos a algún método de conservación (salado, azucarado, ahumado, secado, encurtido o vinagreta) soportaban la travesía. Si bien el método de

conservación podía ser el adecuado, las condiciones o el medio en el que se encontraba el alimento, lo afectaban y terminaba por no ser apto para el consumo humano.

Aproximadamente en 1700, el francés Papin inventó una marmita que permitió la esterilización de utensilios por medio de una autoclave; instrumento que vino a ser el punto de partida para la gran industria procesadora de alimentos. Igualmente, en esa época la agricultura experimentó un avance importante en el aumento de la producción con la invención de implementos agrícolas que permitieron a los campesinos y agricultores tener excedentes de la cosecha para comercializarlos.

Peter Durand diseñó aproximadamente en 1810 un envase de hojalata destinado a contener productos alimenticios que al ser procesados dentro de él, debidamente aislados del exterior por medio de un cierre hermético, podrían conservarse por periodos más largos gracias a su sistema de sellado, ya que mediante la eliminación y posterior aislamiento de los organismos aeróbicos que ocasionaban el deterioro de los productos, se puede envasar, conservar y consumir su contenido incluso muchos días después de su preparación; este envase es la aún conocida lata.

Comienza así, el consumo de productos procesados que han sido sometidos a un proceso industrial que incluye en su proceso la formulación, preparación, conservación y envasado; previos a la distribución, el almacenaje, la compra y el consumo de alimentos, dando paso al negocio de envasado de alimentos. Al principio las latas parecían ollas con tapas, tanto por su aspecto como por el espesor de sus materiales, pero poco a poco cambiaron y ya hacia 1890 eran semejantes a las latas actuales.

Un importante aporte al envase ocurrió a finales del siglo XVII con el desarrollo industrial de frascos o tarros de vidrio y tapas roscadas, sistema que se patentó en 1876. Alemania, que poseía la mejor industria química del mundo, pudo lograr gracias a esta innovación que los medicamentos se convirtieran en productos de consumo corriente. Es este también el momento en que se inicia el envasado de leche en botellas de vidrio retornable para su venta al menudeo.

En 1892 se patentó el tapón corona, que en México se conoció como corcholata; nombre derivado de los materiales que la conformaban inicialmente: la hoja de lata que forman el cuadro estructural del tapón y una capa milimétrica de corcho adherida en el interior y que ejercía la función de sellar por compresión al estar en contacto con la botella. Este nuevo cierre permitió aumentar considerablemente el envasado de líquidos con gas (refrescos, cervezas), ya que posibilitó y facilitó su distribución; gracias a su efectividad y acaparó el interés de los consumidores por su fácil apertura (Losada, 2000).

### *A.1.3 Surgimiento del envase moderno.*

---

El siglo XX provocó una serie de sucesos vertiginosos y significativos del envase, al ser la industria con mayor dinamismo en mejoras, investigación y desarrollo de nuevos productos y procesos como reacción natural al continuo y creciente movimiento económico y comercial tendiente a la globalización (Losada, 2000).

La Primera Guerra Mundial aceleró la tendencia hacia el envase individual distribuyendo y abasteciendo raciones a las tropas en paquetes pequeños y mejorando las técnicas del envasado, aumentando así las posibilidades de distribución y reventa de los productos.

Los cambios posteriores a la Primera Guerra Mundial continuaron hasta los años veinte con una nueva forma de vida que influyó en el diseño de envases más pequeños, con diseños más limpios y frescos, influidos por los vivos colores y líneas angulares del Art Déco, donde el diseño fue más audaz y más simple llamando fuertemente la atención su característica ondulación y tipografía. Su aplicación ayudó al uso generalizado de los envases y una aceptación cada vez más creciente en el público.

La tecnología del envase mejoró. El celofán era la envoltura más higiénica para conservar la frescura de los productos; el plástico y el aluminio, aunque todavía caros, eran los ligeros reemplazos para los pesados contenedores de vidrio.

Durante la Segunda Guerra mundial el envase tuvo que adaptarse en algunos países a la disponibilidad de materiales, tintas y papeles vieron recortada su distribución. Las etiquetas disminuyeron su tamaño, particularmente en el Reino Unido, a fin de ahorrar papel. El nuevo concepto del envase cambió lo estético por lo funcional. Las limitaciones de recursos naturales y los racionamientos de alimentos persistieron en Europa después del fin de la guerra.

Sin embargo, países como Estados Unidos y Canadá, que sufrieron menos las consecuencias de la guerra, continuaron con sus exportaciones de productos secos o enlatados a los mercados de ultramar.

Más grande, pesado y nítido hacia finales de los años cincuenta el envase de esa década no tuvo diferencias sustanciales con el anterior. El nuevo incentivo para el desarrollo del envase fue el surgimiento de los supermercados. Hacia 1950, la gran mayoría de productos estaban envasados, los autoservicios sustituyeron lentamente a las viejas tiendas de abarrotes; surgió la necesidad de crear productos inmediatamente reconocibles que se vendieran por sí mismos en los estantes. El envase llegó a ser una herramienta comercial, evocando un conjunto de valores en la mente del consumidor.

Los años sesenta fueron un tiempo de modernización. La comida rápida, refrigeradores, congeladores, las botanas, los productos de dieta, llegaron a ser comunes, influyendo en los hábitos alimenticios y los estilos de vida de los consumidores en todo el mundo.

Los refrescos comenzaron a venderse en latas que se abrían fácilmente con sólo tirar de un anillo, una considerable ventaja sobre las tradicionales botellas de vidrio con tapón de corcho. El celofán, el aluminio y el plástico vinieron a sellar la frescura de una gran variedad de productos. Los diseñadores de envase se preocuparon por hacer converger el mensaje de compra, con la estética y la funcionalidad.

El diseño de envases alcanzó nuevos caminos en los años setenta; el estilo total de algunos productos y las marcas propias surgieron como alternativa en el mercado. La tecnología del envasado continuó desarrollándose hasta la llegada del Tetrapack para

la leche, refrescos, jugos y los nuevos contenedores de plástico moldeado, más ligeros y consecuentemente de transporte más barato que las pesadas y frágiles botellas de otros materiales. Los gustos del consumidor fueron cambiando y mientras la gente gozaba de más tiempo experimentaba con nuevos sabores; asimismo, la televisión proporcionaba populares alternativas a la comida familiar.

En los años ochenta el envase llegó a ser el vehículo de venta para toda clase de productos. Los diseñadores se dieron cuenta de que el envase debería integrarse como parte de un concepto de marca, coincidiendo en un mensaje total hacia la mente del consumidor. Nuevas tecnologías de corte y doblado de materiales y de moldeo de plásticos redujeron sus costos, conduciendo hacia ideas innovadoras al mundo del envase.

Mientras el diseño gráfico se dirigió con una visión más joven, la nostalgia se puso de moda para destacar la pertenencia y la consistente calidad de algunos productos, fue la era de las etiquetas y los grandes nombres.

El consumo de los años noventa creó una curiosa yuxtaposición. Por un lado, la excesiva posibilidad de elección orilló al diseño a crear nuevos sistemas para llamar la atención creando toda una serie de ingeniosos dispositivos. Por otro lado, se incrementó la conciencia mundial acerca de problemas ambientales y ecológicos, presionando a los fabricantes a envasar sus productos en materiales biodegradables y reciclables. Actualmente existe más variedad, nuevos sabores, mayores tamaños y un “mercado global” que rechaza sistemáticamente los productos regionales; al mismo tiempo, se presenta una vuelta hacia la sencillez en el envase con productos más claros y puros, con identidad propia y autenticidad (Vidales, 1999).

Esta innovación en el envasado junto con la creciente conciencia ecológica dieron paso a la creación de productos amistosos para el ambiente que pueden ir desde el etiquetado ecológico, los envases reutilizables, hasta los biodegradables, que si bien el concepto de estos últimos aparece desde el último cuarto del siglo XX, es en los últimos

años cuando los podemos observar en exposiciones e incluso presentes de manera aislada en el mercado.

En la actualidad es común el uso frecuente de etiquetas termoencogibles que pueden ser aplicadas en casi cualquier superficie y envases muy novedosos. El diseño de los envases ya no se restringe únicamente a los formatos cilíndricos de paredes rectas. Hoy en día, se consolidan envases reutilizables dadas las necesidades en conceptos ecológicos; producir mejores envases que cubran una doble función y dé utilidad posterior para el usuario, es de alguna manera reciclar positivamente con beneficios adicionales que no implican más gasto (Gutiérrez, 2001).

Hasta hace algunos años, el envase había actuado solamente como barrera pasiva para proteger al alimento de las causas de deterioro que limitan su vida de anaquel. Sin embargo, actualmente se cuenta con sistemas de envasado que contienen algún aditivo o aditivo extra cuya función es detener alguna causa de deterioro del alimento y que son conocidos como envases activos.

De igual forma existen los envases inteligentes que tienen la propiedad de responder a cambios internos o externos y comunican información útil al consumidor, de esta forma, el desarrollo de envases activos e inteligentes es un área muy dinámica de investigación a nivel internacional y poco a poco se van introduciendo a los mercados (Soto-Valdez, 2005).

## ***A.2 DEFINICIONES Y CLASIFICACIONES***

---

### ***A.2.1 Envase***

---

Para iniciar, debemos definir el término envase ya que actualmente se emplea para hacer referencia a los diversos contenedores, cualquiera que sea su material: madera, metal, vidrio, cartón, papel, plástico; (o lo que contengan), ya sea alimentos, ropa o diversos objetos.

Estos contenedores para considerarse envases -término genérico-, deben cumplir funciones como las de ser protectores, dosificadores, conservadores, almacenadores, transportadores y comercializadores. Por lo tanto usamos el término envase debido a que en nuestro idioma la palabra empaque no hace referencia a las actividades de embalaje, sino exclusivamente en los de envasado.

El vocablo *empaque* apareció y se generalizó como equivalente de envase a partir de una mala traducción de la palabra inglesa *packaging*. Debemos por tanto utilizar el término envase al referirnos a contenedores para la conservación, comercialización, almacenaje y transporte de diversos productos. De ahí que es importante aclarar en este punto la connotación de envase, pues el vocablo empaque es limitado y ambiguo (Losada, 2000).

Envase se describe como cualquier recipiente o envoltorio adecuado que está en contacto directo o indirecto con el producto cuya función principal es proteger, guardar, conservar e identificar el producto facilitando su manejo, transporte, almacenamiento, distribución y comercialización.

Los envases tienen la gran característica de ser destinados al consumidor final bajo manejo de los volúmenes adecuados. Se entenderá como consumidor final al usuario que consume el producto, ya sea para la elaboración de otros productos que serán comercializados o para consumo personal (Rodríguez, 2007; Oropeza y Sanchez, 2006; Vidales, 2003).

### *A.2.2 Clasificación del envase*

---

- Por su función, los envases pueden ser clasificados de la siguiente manera:

#### **Envase de venta o primario.**

Es aquel envase concebido y diseñado para estar en contacto directo con el producto; es decir, el envase inmediato al producto. Además de que puede o no constituir en el punto de venta un recipiente o envoltorio que está en contacto con el consumidor o usuario final. Como ejemplos tenemos: frascos de vidrio para mermelada, refrescos y perfumes, entre otros (Rodríguez, 2007; Oropeza y Sánchez, 2006; Robertson, 2006; Pardavé, 2004; Vidales, 2003; Cervera, 1998).

#### **Envase secundario.**

Es el desarrollado como contenedor unitario de uno o varios envases primarios para constituir la unidad de venta. La función de este es agruparlos, protegerlos, identificarlos y proponer información sobre las cualidades del producto. Su característica es que puede separarse o ser desechado del producto sin afectar las características del mismo. Como ejemplos tenemos: un paquete con frascos de mermelada, la caja de cartón que contiene a una botella de perfume. (Rodríguez, 2007; Oropeza y Sánchez, 2006; Robertson, 2006; Pardavé, 2004; Vidales, 2003; Cervera, 1998).

#### **Envase de transporte o terciario.**

En algunos casos los envases primarios o secundarios requieren de un recipiente que contenga dos o más de éstos, sirve para distribuir, unificar y proteger a lo largo de la cadena comercial y normalmente resulta en un embalaje o pallet. Están excluidos los contenedores navales, ferroviarios, aéreos entre otros. Podemos citar como ejemplo la caja de cartón corrugado que contendrá varias cajas con botellas de perfume para su distribución a los almacenes. (Rodríguez, 2007; Robertson, 2006; Pardavé, 2004; Vidales, 2003; Cervera, 1998).

En algunas ocasiones un envase puede asumir todas las funciones (primario, secundario y terciario), en este caso el envase primario deberá ser lo suficientemente fuerte para sostener el producto y ser capaz de soportar los rigores del embarque y la transportación. Así mismo, toda la información necesaria para el consumidor deberá ser incluida a este envase (Vidales, 2003).

### **Envase cuaternario**

Es frecuentemente usado para facilitar el manejo de los envases terciarios. Este es generalmente un contenedor metálico de 40 metros de largo el cual puede sostener varios pallets y es de naturaleza intermodal, esto es, puede ser transportado y transferido de barcos a trenes y tráileres, además de que pueden ser apilados en grandes grupos en los puntos de transbordo. Ciertos contenedores tienen temperatura y atmosfera de gases y humedad controlada, esto es necesario en situaciones particulares como en la transportación de alimentos congelados, carnes refrigeradas y frutas y vegetales frescos (Robertson, 2006). Esta definición es muy pocas veces referida pues es asociada más con la logística e ingeniería de transporte.

- En cambio, por constitución los envases pueden clasificarse en:

### **Envase rígido.**

Envases con forma definida no modificable y cuya rigidez permite colocar producto estibado sobre el mismo, sin sufrir daños, ejemplo: envases de vidrio y latas metálicas (Rodríguez, 2007).

### **Envase semi-rígido.**

Envases cuya resistencia a la compresión es menor que los envases rígidos, sin embargo cuando no son sometidos a esfuerzos de compresión su aspecto puede ser similar a la de los envases rígidos o envases plásticos. Por ejemplo: los envases de plástico (Rodríguez, 2007).

### **Envase flexible.**

Envases fabricados de películas plásticas, papel, hojas de aluminio, laminaciones u otros materiales como coextrucciones y cuya forma resulta deformada con su sola manipulación. Este tipo de envase no resiste un producto estiba, sin embargo, resulta práctico para productos de fácil manejo (Rodríguez, 2007; Vidales, 2003).

- Finalmente, de acuerdo al apoyo que realiza con el medio ambiente y sobre algunas otras tendencias en el mundo del envase encontramos las siguientes:

### **Envase activo**

El envase activo es definido como el envase en el cual constituyentes secundarios han sido deliberadamente incluidos dentro o sobre el material de envase o en el espacio vacío del mismo para aumentar el rendimiento del sistema de envasado. Esta implícito en la definición que el rendimiento del sistema de envasado se incluye mantener los aspectos sensoriales, de seguridad y calidad de el alimento (Robertson, 2006). El envase activo considera sistemas de control de oxígeno, etileno y otros gases, además de la humedad; removedores de olores, propiedades con actividad antimicrobianas, entre otros (Brody et al 2001)

### **Envase inteligente**

El envase inteligente es un componente integral o una propiedad inherente de una configuración de envase, producto o envase/producto que confiere inteligencia apropiada para el funcionamiento y uso del producto. Puede consistir en un indicador interno o externo para indicar la calidad e historia del producto, actuando como un mensajero inteligente o un vínculo de información (Robertson, 2006).

### **Envase verde**

El concepto del envase verde surgió por la tendencia de llevar a los mercados contenedores que afecten lo menos posible el medio ambiente. El envase verde se ha hecho cada vez más presente en productos utilizados en la vida diaria, ya que son elaborados con materiales –naturales o sintéticos- reutilizables o reciclables, que se integran a la naturaleza sin causarle daño que además consumen un mínimo de

energía y materia prima en su elaboración, y/o que generan un mínimo de contaminantes durante su fabricación, uso y disposición (Vidales, 2003).

Tabla A.1: Clasificación de envase.

Función	Primario Secundario Terciario Cuaternario
Constitución	Rígido Semirígido Flexible
Otros	Activo Inteligente Medioambiental

Fuente: El autor.

Indudablemente esta clasificación podría ser ampliada tomando otras consideraciones (aplicaciones, mercadotecnia, aspectos sociales); sin embargo para los fines de este trabajo es suficiente.

## ANEXO DOS

### EL PLÁSTICO EN EL TIEMPO

---

El desarrollo histórico de los plásticos comenzó cuando se descubrió que las resinas naturales como el betún, la gomalaca o el ámbar, podían emplearse para elaborar objetos de uso práctico. Estas resinas son extraídas de ciertos árboles y existen referencias de su uso en Egipto, Babilonia, la India, Grecia y China. En América, el hule o caucho ya era utilizado por sus habitantes antes de la llegada de los europeos.

En 1826 Williams, calentó el hule y por destilación, obtuvo un líquido transparente de olor picante al que llamó isopreno.

En 1832 Lundersdorf, al combinar caucho con azufre descubrió el hule vulcanizado; pero por no dar a conocer suficientemente su trabajo quedó en el olvido (Báez, 2003).

En 1835, el francés Regnault, obtuvo el monómero cloruro de vinilo; al tratar dicloruro de etileno con una solución alcohólica del hidróxido de potasio (Vidales, 1999).

Puede decirse que la primera resina semisintética fue el hule vulcanizado obtenida por Charles Goodyear, en 1839. Este proceso de vulcanización consistía en hacer reaccionar azufre con la resina natural caliente. El producto resultó ser muy resistente a los cambios de temperatura, así como a los esfuerzos mecánicos. El pegajoso látex de la goma natural era transformado en un provechoso elastómero con aplicación en neumáticos para autos.

Ese mismo año Simon, un farmacéutico berlinés, llevó a cabo la destilación del stórax (líquido derivado de la corteza del árbol llamado *liquambar orientalis*), obteniendo un líquido menos reactivo al que llamó estireno; más adelante observó la

transformación del líquido transparente, semejante al agua, en una masa viscosa y traslúcida (Fried, 2003; Vidales, 1999).

El inicio de los silicones surge en 1840 cuando el químico Dumas, sintetiza los materiales denominados organosilados. En 1857, Boff y Wohler, obtienen el tricorosilano haciendo pasar ácido clorhídrico en forma de gas sobre una mezcla caliente de carbón y silicio.

Posteriormente, en 1845 los químicos J. Blyth y A. W. Hoffman, basándose en los datos de Simon; llevaron el estireno a altas temperaturas, obteniendo con ello, productos sólidos de acabado semejante al vidrio (Vidales, 1999).

En 1847, Christian F. Schönbein, hizo reaccionar celulosa con ácido nítrico para generar nitrato de celulosa. (Fried, 2003). En 1862, el químico inglés Alexander Parkes, preparó un material plástico al que llamó Parkesine; que resultó realmente moldeable, estaba hecho a partir de desperdicio de algodón que hizo reaccionar con una mezcla de ácido sulfúrico y nítrico para obtener nitrocelulosa, compuesto que con posterioridad fue mezclado con aceite de castor, alcanfor y algún colorante.

Este nuevo material era fácil de producirse en pequeñas cantidades, pero presentaba serias dificultades en producciones a mayor escala por lo que no tuvo éxito. En 1868 Berthelot, descubrió la primera obtención sintética del estireno, a partir de la eliminar dos hidrógenos a la molécula de etilbenceno.

El químico estadounidense John Wesley Hyatt, obtuvo en 1870, el primer plástico de fabricación comercial sustituyendo la parte del aceite de castor con una proporción de alcanfor para crear el celuloide. El nuevo material fue utilizado como sustituto del marfil en la elaboración de bolas de billar; después se fabricaron polveras, peines, mangos para navajas, placas dentales y película fotográfica. (Vidales, 1999). El celuloide, a pesar de haber sido el primer plástico de fabricación comercial, aparentemente no tuvo incidencia dentro de la industria del envase (Losada, 2000).

Entre los años 1869 y 1879, varios científicos publicaron informes sobre los polímeros de las olefinas; sin embargo, pasaron algunos años antes de que lograran la polimerización del etileno.

Mientras que en 1872, Landenburg, produjo un polímero de silicio en forma de aceite viscoso que marcó el inicio de los aceites de silicón. En ese año Barman, trabajando con dicloruro de etileno logró la polimerización del monómero, al exponer a la luz del sol, un tubo de vidrio sellado con cloruro de vinilo; descubriendo la formación de un precipitado de color blanco que no era afectado por solventes pero que se degradaba por efecto del calor y presentaba fragilidad a los esfuerzos, problemas que fueron resueltos por el uso de estabilizadores plastificantes y aditivos.

La primera fibra sintética fue introducida en 1889, se trató de una seda sintética hecha a base de nitrocelulosa.

A finales del siglo XIX, se desarrollaron en Alemania estudios sobre los ésteres de los ácidos acrílico y metacrilato. En 1894, D. Vorlander, desarrolló el primer poliéster insaturado lineal, pero su completo desarrollo tuvo lugar en la tercera década del siglo XX. El primer polietileno fue obtenido en 1898 por Von Pechmann, a partir de diazometano; otro alemán, Einhorn, descubrió el policarbonato al hacer reaccionar por separado dihidroxibenceno, hidroquinona y resorcinol, con fosfógeno en una solución de piridina. El policarbonato base hidroquinona era un material cristalino, insoluble, que no se podía fundir, mientras que el polímero base resorcinol era un material amorfo con punto de fusión aproximadamente a 200°C.

En 1901 el Dr. Otto Rohm centra sus estudios en los primeros acrílicos y en 1907 funda la Rohm & Hass Company, que fabricaba y comercializaba polímeros acrílicos para recubrimientos.

Estas primeras épocas de experimentación y de incipientes logros en el campo de los plásticos, no encuentran todavía aplicaciones en el campo del envase. Su aplicación tiene lugar hasta las primeras décadas del siglo XX, cuando los materiales plásticos se producen de manera industrial.

La del siglo XX es la cultura del plástico. Después de varias décadas de experimentación el hombre pudo superar los límites de los materiales hasta entonces conocidos. El siglo XX trajo cambios profundos en el manejo de sustancias sintéticas. Al principio se utilizaron como imitación de materiales caros: el marfil, el carey o los metales preciosos pudieron ser sustituidos por objetos de plásticos, de fabricación masiva y de costo mínimo, accesible a la mayoría.

Los nuevos materiales vinieron acompañados de innovaciones y mejoras tecnológicas. De la fabricación de objetos por separado se paso al moldeo automatizado en un solo paso.

El auge del celuloide se presentó en los años posteriores a la Gran Guerra y hasta la década de los treinta, cuando surgieron el polimetilmetacrilato, el cloruro de polivinilo y el poliestireno, materiales totalmente sintéticos que podían ser moldeados por compresión, inyección o extrusión (Vidales, 1999).

En 1909, el belga Leo Baekeland descubre la baquelita, polímero sintético empleado en sus inicios como aislante eléctrico. Debido a su moldeabilidad y resistencia, que permitía obtener piezas muy delgadas y resistentes, se usó en la fabricación de envases, principalmente en tapas roscadas para cerrar tarros o botellas de vidrio, con lo que estos dos elementos se convirtieron por años en compañeros inseparables.

Con el tiempo sus usos se diversificaron, fabricándose con ella asas y mangos para utensilios de cocina, y por su resistencia a la temperatura; joyería, botones, teléfonos, partes de aparatos electrodomésticos y todos los elementos de contactos eléctricos. Se le conocía como el material de los mil usos; con ella se fabricaron desde cafeteras hasta teléfonos y radios. Con el nuevo material ya no se trató de imitar la superficie y propiedades de otros, él mismo tenía su valor.

Los plásticos se volvieron materiales de uso común entre las dos guerras mundiales. DuPont desarrolló el primer celofán en 1924, en 1927 el PVC; y el nylon en 1938. La compañía ICI desarrolló e 1938 el polietileno, y los alemanes de BASF el poliestiresno, aunque su aplicación en envases no se realizó si no hasta la segunda

mitad del siglo. La introducción del nylon marca un cambio radical en la vida diaria, cientos de productos de origen natural fueron sustitutos por otros fabricados a partir de resinas sintéticas.

A mediados del siglo, comienza realmente el uso del plástico dentro de la industria del envase (Losada, 2000; Vidales, 1999).

Después de 1950, en Italia se formuló y produjo el polipropileno y el polietileno de baja densidad (LDPE por sus siglas en inglés), que se utilizó por primera vez en sacos para fertilizantes. Se lanzó al mercado la envoltura estirable o encogible para alimentos y para envasar muchos otros tipos de productos y en 1977 se inició el uso del PET en bebidas carbonatadas. Dentro del ramo de los plásticos y películas plásticas, EXXON desarrolló el polietileno de alta densidad (HDPE) y Bayer diversos policarbonatos (Losada, 2000).

Entre las décadas de los sesenta y los setenta el mundo vio la llegada de las bolsas de polietileno, usadas literalmente para todo e ideadas para ser reutilizadas.

En las últimas dos décadas del siglo XX surgen nuevos envases con la tecnología de los plásticos. En el mundo de los envases, por ejemplo, se han superado obstáculos que antes impedían el uso de materiales sintéticos en distintas industrias como la alimenticia.

Actualmente los plásticos más utilizados son el polietileno de baja densidad (LDPE), el polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), el polietileno de alta densidad (HDPE), el polipropileno (PP), el cloruro de polivinilo (PVC), el poliestireno (PS) y el teraftalato de polietileno (PET) (Vidales, 1999).

## BIBLIOGRAFIA

---

- Aliste, AJ; Del Mastro, NL., (2006); **Anomalous rheological behaviour of gelatin-carrageenan-water system induced by ionizing radiation**; *Molecular crystal and liquid crystals*; 448:179-185.
- Alves, V.; Costa, N.; Hilliou, L.; Larotonda, F.; Goncalves, M.; Sereno, A.; Coelho, I. (2006); **Design of biodegradable composite films for food packaging**; *Desalination*; pp. 331-333.
- Areizaga, Javier. (2002); **Polímeros**; Editorial Síntesis; Primera edición; España; pp. 14-20
- Arjona Román, J.L.; Martín, Polo M. (1997); **Interacción y compatibilidad de envase-producto alimentario**; UNAM-CIC-PUAL (curso); México; pp. 75-102.
- Báez García, Carlos. (2003); **Introducción a los plásticos**; en: Rodríguez Tarango José A. (Cord.); **Ingeniería y diseño, Envase y embalaje**; Editorial IMPEE; México; pp. 97-99.
- Ban, WP; Jianguo Song; Argyropoulos, DS; Lucia, LA., (2006); **Improving the physical and chemical functionality of starch-derived films with biopolymers**; *Journal of applied polymer science*; 100 (3):2542-2548.
- Barone, JR; Schmidt, WF; Liebner, CFE., (2005); **Thermally processed keratin films**; *Journal of applied polymer science*; 97 (4):1644-1651.
- Bartolomé de las Casas (1965); **Historia de las Indias**; Fondo de Cultura Económica; México.
- Bastioli, C, (2000); **Global status of the production of biobased packaging materials**; *The Food biopack conference*; Edited by: Weber, CJ; Copenhagen, Denmark; 27-29 August 2000; p 2.
- Becerra Sean, Soucel (2001); **Envase y embalaje de alimentos. Bioenvases y películas comestibles de quitosan en tomate**; UNAM; Tesis de licenciatura en Ingeniería de Alimentos; México; pp. 12-29.
- Bergo, P; Sobral, PJA., (2007); **Effects of plasticizer on physical properties of pigskin gelatin films**; *Food hydrocolloids*; 21 (8):1285-1289.
- Bianchi M., Brambilla L., Portan F.; **Efficient homolactic fermentation by *Kluyveromyces lactis* strains defective in Pyruvate utilization and**

- transformed with the heterologous LDH gene;** *Applied and environmental technology*; 67, 12 (2001); pp. 5621 – 5625.
- Briassoulis D. (2004); **An overview on the mechanical behavior of biodegradable agricultural films;** *Journal of Polymers and the environment*; Vol. 12, No. 2; pp. 65-82.
  - Brody, Aron L.; Strupinsky, Eugene R.; Kline, Lauri R. (2001); **Active packaging for food applications;** CRC Press; USA; p. 1.
  - Bucci, D.Z., Dean, K., Sell I. (2005); **PHB packaging for the storage of food products.** *Polymer testing*; 564-571.
  - Bucci, DZ; Tavares, LBB; Sell, I; (2007); **Biodegradation and physical evaluation of PHB packaging;** *Polymer testing*; 908-915.
  - Byrom D; **PolyHydroxyalcanoatos;** *Plastics from microbes*; Edited by: Mobley D.P.; Hanser Publishers; Germany; 1994; pp. 5-31.
  - Cervera Fantoni (1998); **Envase y embalaje;** Editorial Esic; Madrid, España; pp. 21-34.
  - Celorio Blasco, Carlos. (2003); **El envase, reflejo social de su época;** en: Rodríguez Tarango José A. (Cord.); Ingeniería y diseño, Envase y embalaje; Editorial IMPEE; México; pp. 54-57.
  - Cha, DS; Chinnan, MS., (2004); **Biopolymer-based antimicrobial packaging: A review;** *Critical reviews in food science and nutrition*; 44 (4):223-237.
  - Chiellini, E; Cinelli, P; Chiellini, F; Imam, SH., (2004); **Environmentally degradable bio-based polymeric blends and composites;** *Macromolecular bioscience*; 4 (3):218-231.
  - Cutter, CN.,(2006); **Opportunities for bio-based packaging technologies to improve the quality and safety of fresh and further processed muscle foods;** *Meat Science*; 74 (1):131-142.
  - Danner H.; Madzingaidzo L.; Thomasser C., (2002); **Thermophilic production of lactic acid using integrated membrane bioreactor systems coupled with monopolar electro dialysis;** *Applied microbiology and biotechnology*;
  - Data R., Tsai s., Moon S.; **Technological and economic potential of poly lactic acid and lactic acid derivatives;** *International Congress on Chemicals from biotechnology*; Hannover, Germany; 1999; pp. 1 – 18.
  - De Almeida, A.; Ruiz, J. A.; López, N. I.; Pettinari, M.J. (2004). **Bioplásticos: una alternativa ecológica;** *Química viva*; pp.122-133.

- Deglì-Innocenti, Francesco. (2000). **Envirometal impact of biobased material: biodegradability and compostability**; *Biobased packaging materials for the food industry status and perspectives*; Edited by Weber Weber C.J.; KVL, The Royal Veterinary and Agricultural University Denmark; Denmark; pp. 107-110.
- DOF, Diario Oficial de la Federación; **Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos**; México, Octubre 2003.
- Emmambux, MN; Stading, M; Taylor, JRN., (2004); **Sorghum kafirin film property modification with hydrolysable and condensed tannins**; *Journal of cereal science*; 40 (2):127-135.
- Fedorak, PM., (2005); **Microbial processes in the degradation of fibres**; *Biodegradable and sustainable fibers*; Edited by Blackburn, RS; Woodhead Publishing in assoation with The Textile Institute Abington Hall; Cdbridge, England; pp. XVI- XXI.
- Fernandez, A; Cava, D; Ocio, MJ; Lagaron, JM., (2008); **Perspectives for biocatalysts in food packaging**; *Trends in food science and technology*; 19 (4):198-206.
- Fried Joel, R. (2003); **Polymer Science and technology**; EDITORIAL; 2a Edición; USA; pp. 1-13.
- Ghanbarzadeh, B; Oromiehie, AR; Musavi, M; Falcone, PM; D-Jomeh, ZE; Rad, ER., (2007); **Study of mechanical properties, oxygen permeability and AFM topography of zein films plasticized by polyols**; *Packaging technology and science*; 20 (3):155-163.
- Giosafatto, CVL; Mariniello, L; Ring, S., (2007); **Extraction and characterization of Foeniculum vulgare pectins and their use for preparing biopolymer films in the presence of phaseolin protein**; *Journal of agricultural and food chemistry*; 55 (4):1237-1240.
- Guilbert, S; Cuq, B; Gontard, N., (1997); **Recent innovations in edible and/or biodegradable packaging materials**; *Food additives and contaminants*; 14 (6-7):741-751.
- Gupta A.P., Kumar V.; **New emerging trends in synthetic biodegradable polymers –Polilactide: A critique**; *European polymer journal*; 43 (2007); 4053 – 4074.
- Gutiérrez Guzmán, Ana Fabiola. (2001); **Realización y estructura de un envase de cartón**; Tesis de Licenciatura, FES Acatlán, UNAM; México; pp. 99.
- Hambleton, A; Debeaufort, F; Beney, L; Karbowiak, T; Voilley, A., (2008); **Protection of active aroma, compound against moisture and oxygen by**

**encapsulation in biopolymeric emulsion-based edible films;**  
*Biomacromolecules*; 9 (3):1058-1063.

- Haugaard V.K., Udsen A.M., Mortensen G., Hoegh L., Petersen K., Monahan F. (2000); **Food biopackaging;** *Biobased packaging materials for the food industry status and perspectives*; Edited by Weber C.J.; KVL, The Royal Veterinary and Agricultural University Denmark; Denmark; p 45-52.
- Haugaard V.K., Mortensen G., (2003); **Biobased food packaging;** *Environmentally Friendly Food Processing*; Edited by Mattson, B. and Sonneson, U.; CRC Press; Boca Raton, Florida; Chapter 11.
- Heiss, R. (1977); **Principios de envasado de alimentos;** Editorial Acribia; Zaragoza, España; pp. 23-24.
- Helén, H; Kantola, M; Kotilainen, E, (2000); **A Finnish Study of biobased packaging materials for food applications;** *The Food Biopack Conference*; Edited by: Weber, C.J.; Copenhagen, Denmark; 27-29 August 2000; p 2.
- Henton, D.E.; Gruberg, P.; Lunt, J.; Randall, J, (2005); **Poly(lactic acid) technology;** *Natural fibers, biopolymers and biocomposites*; Edited by: Mohanty, A.K.; Misra, M.; D'Zral, L.; Taylor and Francis Group, CRC; USA; pp. 527-577.
- Hocking P.J.; Marchessault R.H.; **Biopolyesters;** *Chemistry and Technology of Biodegradable Polymers*; Edited by: Griffin G.J.L.; Blackie Academic and Professional; Great Britain; 1994; pp. 48-95.
- Hong, S.I.; Lee, J.W.; Son, S.M., (2005); **Properties of polysaccharide-coated polypropylene films as affected by biopolymer and plasticizer types;** *Packaging Technology and Science*; 18 (1):1-9.
- Jenkis, W.A.; Harrington, J.P. (1991); **Packaging food with plastics;** Technomic Publishing Company; USA; pp. 1-4.
- Jeon, Y.J.; Kamil, J.Y.V.A.; Shahidi, F., (2002); **Chitosan as an edible invisible film for quality preservation of herring and Atlantic cod;** *Journal of Agricultural and Food Chemistry*; 50 (18):5167-5178.
- Jin, T.; Zhang, H., (2008); **Biodegradable poly(lactic acid) polymer with nisin for use in antimicrobial food packaging;** *Journal of Food Science*; 73 (3).
- Kale, G.; Auras, R.; Singh, S.P., (2006); **Degradation of commercial biodegradable packages under real composting and ambient exposure conditions;** *J Polym Environ*; 14:317-334.

- Kale, G; Auras, R; Singh, SP; (2007); **Biodegradability of polylactide bottles in real and simulated compositing conditions**; *Polimer Testing*; ARTICULO IN PRESS, Consultado en Enero del 2008.
- Kharas, Gb; Sanchez-Riera, F; Severson DK, (1994); **Polymers of lactic acid**; *Plastics from microbes*; Edited by: Mobley DP; Hanser publishers; Germany; pp 93-137.
- Kim, KM; Weller, CL; Hanna, MA; Gennadios, A., (2002); **Heat curing of soy protein films at atmospheric and sub-atmospheric conditions**; *Journal of food science*; 67 (2):708-713.
- Kim, YT; Hong, YS; Kimmel, RA; Rho, JH; Lee, CH., (2007); **New approach for characterization of gelatin biopolymer films using proton behavior determined by low field H-1 NMR Spectrometry**; *Journal of agricultural and food chemistry*; 55:10678-10684.
- Lagaron, JM; Cabedo, L; Cava, D; Feijoo, JL; Gavara, R; Gimenez, E., (2005); **Improving packaged food quality and safety. Part 2: Nanocomposites**; *Food additives and contaminants*; 22 (10):994-998.
- Litchfield J.;(1996); **Microbial production of lactic acid**; *Applied microbiology*; 42 pp 45-95.
- Liu, CC; Tellez-Garay, AM; Castell-Perez, ME., (2004); **Physical and mechanical properties of peanut protein films**; *Food science and technology*; 37 (7):731-738.
- Liu, LS; Finkenstadt, VL; Liu, CK; Jin, T; Fishman, ML; Hicks, KB., (2007); **Preparation of poly(lactic acid) and pectin composite films intended for applications in antimicrobial packaging**; *Journal of applied polymer science*; 106 (2):801-810.
- Lopez-Rubio, A; Gavara, R; Lagaron, JA., (2006); **Bioactive packaging: turning foods into healthier foods through biomaterials**; *Trends in food science and technology*; 17 (10):567-575.
- Losada Alfaro, Ana María. (2000); **Envase y embalaje, Historia, tecnología y ecología**; Editorial Designio, teoría y práctica, México; pp. 13-91.
- Maldonado, Reyes Ana A. (2005); **Recomendaciones para el diseño ecológico de envases de plástico para alimentos**; UNAM; Tesis de maestría en diseño industrial; México; pp.83-144
- Moller, H; Grelier, SP; Pardon, P; Coma, W., (2004); **Antimicrobial and physicochemical properties of chitosan-HPMC-based films**; *Journal of agricultural and food chemistry*; 52 (21):6585-6591.

- Mohanty, A. K.; Misra, M.; Drzal, L. T.; Selke, S.E.; Harte, B.R.; Hinrichesen, G.(2005) **Natural fibers, biopolimers, biocomposites: An Introduction;** *Natural fibers, biopolimers, biocomposites*; Edited by Mohanty A. K., Misra M., Drzal L. T.; Taylor and Francis Group, CRC; USA; 2005; pp. 1-4, 10-12.
- Mohanty, A. K.; Misra, M.; Drzal, L. T.; Selke, S.E. (2005). Harte B.R. Hinrichesen G. (Editors); **Natural fibers, biopolimers, biocomposites;** Taylor and Francis Group, CRC; USA; pp. 1-4, 10-12, 833-834.
- Oropeza, H. S. y Sánchez, S. A. K. (2006); **Manual de diseño y envase; Consideraciones de diseño;** Editorial IMPEE; México; pp. 17-21.
- Otaigbe, JU., (1998); **Controlling the water absorbency of agricultural biopolymers;** *Plastic Ingeniering*; 54 (4):37.
- Ötles S., Ötles S. (2004); **Focus on principal properties of biobased packaging material for the food industry;** *Acta science polymer, Technologia Alimentaria*; pp. 5-12.
- Pardavé Livia, Walter. (2004); **Envase y medio ambiente;** Grupo Editorial Norma; Colombia; pp. 1-7, 39-49, 51-67.
- Patel Martin, Narayan Ramani (2005); **How sustainable are biopolymers and biobased products? The hope, the doubts and the reality;** *Natural fibers, biopolimers, biocomposites*; Edited by Mohanty A. K., Misra M., Drzal L. T.; Taylor and Francis Group, CRC; USA; pp. 833-834.
- Petersen K., Nielsen P.V., Bertelsen G., Olsen M.B., Nilsson N.H., Mortensen G. (1999); **Potential of biobased material for food packaging;** *Trend en Food science and Technology*; 10(2); pp. 52-68.
- Randall, Curle T. (1991). **Plastic Waste. Management, Control, Recycling and Disposal by Enviroment;** Protection Agency Washington D.C. New Jersey U.S.A.
- Rhim, JW; Ng, PKW., (2007); **Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications;** *Critical reviews in food science and nutrition*; 47 (4):411-433.
- Rhim, JW; Lee, JH; Hong, SI., (2006); **Water resistance and mechanical properties of biopolymer (alginate and soy protein) coated paperboards;** *LWT-Food science and technology*; 39 (7):806-813.
- Robertson Gordon, L. (2006); **Food packaging. Principles and practice;** Second edition; CRC, Taylor and Francis Group; USA; pp. 1-19, 43-54, 286-291.

- Rodríguez Tarango, José Antonio. (2007); **Manual de ingeniería y diseño de envase y embalaje; para la industria de los alimentos, químico, farmacéutico y cosméticos**; 6ª edición; Editorial IMPEE; México.
- Sanchez-Garcia, MD; Gimenez, E; Lagaron, JM., (2008); **Morphology and barrier properties of nanobiocomposites of poly(3-hydroxybutyrate) and layered silicates**; *Journal of applied polymer science*; 108 (5):2787-2801.
- Sanchez-Garcia, MD; Gimenez, E; Lagaron, JM., (2007); **Novel pet nanocomposites of interest in food packaging applications and comparative barrier performance with biopolyester nanocomposites**; *Journal of plastic film and sheeting*; 23133-148.
- Serna L., Rodriguez A., Albán F.; **Ácido Poliláctico (PLA)**; *Ingeniería y competitividad*; Vol. 5, No. 1 (2003); pp. 16-26.
- SGPA/SEMARNAT. (2001); Subsecretaria de Gestión para la Protección Ambiental, Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales; **Guía de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales**; SEMARNAT; México; pp. 1-7.
- Sielaf, Heinz. (2000); **Tecnología de la fabricación de conservas**; Editorial Acribia S.A.; Zaragoza, España; pp. 59-68
- Sodergard, A, (2000); **Lactic acid based polymers for packaging materials for the food industry**; Conference proceedings. *The food biopack Conference*; Copenhagen, Denmark; pp. 19 – 22.
- Sodergard, A; Stolt, M, (2002); **Properties of lactic acid polymers and their correlation with composition**; *Progress in polymer science*; 1123-1163.
- Tharanathan, R.N. (2003); **Biodegradable films and composite coatings: past, present and future**; *Trends in Food Science Technology*; 71-78.
- Tharanathan, R. N.; Saroja, N.(2001); **Hydrocolloid-based packaging films alternate to synthetic plastics**; *Journal of Scientific and Industrial Research*, pp., 547–559
- Tuil, R.; Fowler, P.; Lawher, M.; Weber, C.J. (2000). **Properties of biobased packaging materials**; *Biobased packaging materials for the food industry status and perspectives*; Edited by Weber C.J.; KVL, The Royal Veterinary and Agricultural University Denmark; Denmark; pp. 14, 15.
- United Nations, Brundtland Commission/ World Commission on Environment and Development (1987); **Our common future**; New York; 12-11.

- Vartiainen, J; Motion, R; Kulonen, H; Ratto, M; Skytta, E; Ahvenainen, R., (2004); Chitosan-coated paper: **Effects of nisin and different acids on the antimicrobial activity**; *Journal of applied polymer science*; (3):986-993.
- Vega de Kuyper, Juan Carlos. (2002); **Química del medio ambiente y de los recursos naturales**; Ediciones Universidad Católica de Chile; Chile.
- Vidales Giovannetti, María Dolores. (1999); **El envase en el tiempo**; Editorial Trillas; México; pp. 16-18, 230-232, 268-274, 376-377.
- Vidales Giovannetti, María Dolores. (2003); **El mundo del envase**; Segunda Edición; Editorial Gustavo Gili; México; pp.17-23, 69-77, 130-154, 281-283.
- Volke Sepúlveda, Tania Lorena. (1998); **Los plásticos en la actualidad y su efecto en el entorno**; *Revista Electrónica Ciencia y Desarrollo*; Marzo-Abril 1998.
- Wang Y.J., Hua F.L., Tsang Y.F., Chan S.Y., Sin S.N., Chua H., Yu P.H.F., Ren N.Q.; **Synthesis of PHAs from waster under various C:N ratios**; *Bioresource technology* 98 (2007); 1690-1693.
- Weber, C. J. (2000); **Biobased packaging materials for the food industry status and perspectives**; KVL, The Royal Veterinary and Agricultural University Denmark; Denmark; 2000; pp. 4,5, 15,107-110.
- Xiberta, Juan L. (1995); **Gestión de residuos de envases y embalajes y sus residuos de envases y embalajes y sus residuos**; Instituto de Investigaciones Ecológicas; España; 1995.
- Yu, L.; Dean, K.; Li, L. (2006); **Polymer blends and composites from renewable resources**; *Progress in polymer science*; pág. 578.
- Zhao, RX; Torley, P; Halley, P.J., (2008); **Emerging biodegradable materials: starch- and protein-based bio-nanocomposites**; *Journal of materials science*; 43 (9):3058-3071.

## WEBS SITES

- CIQA, (2007); **Centro de Investigación en Química Aplicada. Ciencia y tecnología al servicio de la industria del plástico**; disponible en <http://www.ciqa.mx/paqciqa/investigacion.htm>; consultada en julio de 2008.
- IMPEE/ Jiménez, Leticia. (2005); **El reciclaje de plásticos en la Unión Europea**; Instituto mexicano de profesionales en envase y embalaje S.C. (IMPEE); disponible en [www.envaseyembalaje.com.mx](http://www.envaseyembalaje.com.mx); consultado en Julio de 2008.

- SNIARN/SEMARNAT. (2007); Sistema Nacional de Indicadores Ambientales y Recursos Naturales/Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; **Informe de la situación de medio ambiente en México**; México; disponible en [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx); consultado en julio de 2008.
- Soto-Valdez, Herlinda. (2005); **Envases activos e inteligentes**; Instituto mexicano de profesionales en envase y embalaje S.C. (IMPEE); disponible en: [www.envaseyembalaje.com.mx](http://www.envaseyembalaje.com.mx); consultado en Julio del 2008.