



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE DIFERENTES TÉCNICAS PARA LA
FABRICACIÓN DE BOLSAS BIODEGRADABLES.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO

PRESENTA

ÁLVARO HUITZIL SOLÓRZANO



MÉXICO, D.F.

AÑO 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor: Dra. Irma Cruz Gavilán García**

VOCAL: **Profesor: M .en C. Héctor Ariel Rico Morales**

SECRETARIO: **Profesor: Dra. María Neftalí Rojas Valencia**

1er. SUPLENTE: **Profesor: M. en C. Sergio Adrián García González**

2° SUPLENTE: **Profesor: Dra. Gema Luz Andraca Ayala**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

ASESOR DEL TEMA: **DRA. MARÍA NEFTALÍ ROJAS VALENCIA**

FIRMA

SUSTENTANTE : **ÁLVARO HUITZIL SOLÓRZANO**

FIRMA

Agradecimientos

A mi padre, madre y hermana por su infinita paciencia y amor en esta larga espera.

A la banca química.

Con mucho afecto y admiración a la Dra. María Neftalí Rojas Valencia por su apoyo, paciencia y por compartir conmigo sus conocimientos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química y a cada uno de los profesores que me impartieron clase.

Índice General

CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 2 OBJETIVOS	4
CAPÍTULO 3 IMPACTO AMBIENTAL.....	6
CAPÍTULO 4 METODOLOGÍA	11
CAPÍTULO 5 RESULTADOS	20
5.1 Resultados del análisis del análisis de gabinete.....	21
5.1.1 Fundamentos teóricos.....	21
5.2 Características y propiedades de los plásticos.....	21
5.3 Comportamiento térmico.....	22
5.4 Polietileno	23
5.5 Evolución de los plásticos.....	24
5.6 Almidón.....	29
5.7 Polimerización del ácido láctico para obtener el ácido poliláctico (PLA)..	30
5.8 Biodegradación	32
5.9 Métodos para medir la biodegradación	36
5.9.1 Aditivos.....	37
5.9.2 Métodos de fabricación de bolsas de polietileno y biodegradables.....	39
5.9.3 Técnicas de fabricación	41
5.9.3.2 Moldeo por extrusión.....	41
5.9.3.3 Moldeo por insuflación de aire.....	42
5.9.4 Normatividad	42
5.9.5 Normas internacionales.....	44
5.9.6 Normas impuestas para la fabricación de bolsas en el DF.....	45

5.9.7 Resultados estudio caso.....	47
CAPITULO 6 CONCLUSIONES	51
CAPÍTULO 7 RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFIA	57
ANEXOS.....	62
Anexo1. Patentes enlistadas	63
Anexo 2. Artículo Bolsas biodegradables ¿Cuánto hemos avanzado?	65

Índice de tablas

Tabla 5.1 Tipos de biodegradación	34
-----------------------------------	----

Índice de Imágenes

Imagen 3.1	Bolsas de plástico	7
Imagen 3.2	Inundaciones causadas por plásticos	9
Imagen 3.3	Contaminación de plásticos	10
Imagen 4.1	Materia prima polietileno de alta y baja densidad en gránulos	13
Imagen 4.2	Contenedor con gránulos de PEBD Y PEAD	13
Imagen 4.3	Formación del globo a partir de la fundición de los gránulos	14
Imagen 4.4	Extracción del globo a través del rodillo	15
Imagen 4.5	Acomodo de tiraje de plástico sin moldear	15
Imagen 4.6	Obtención del primer tiraje sin moldear	16
Imagen 4.7	Moldeo de la bolsa	16
Imagen 4.8	Rollos de bolsa sin cortar	17
Imagen 4.9	Colocación de bolsas en cortadora	17
Imagen 4.10	Cortadora de bolsas	18
Imagen 4.11	Bolsas cortadas	18
Imagen 4.12	Empaquetamiento de bolsas	19
Imagen 5.1	Monómero de polietileno	21
Imagen 5.2	Estructura ramificada de PEBD	23
Imagen 5.3	Estructura PEAD	24
Imagen 5.4	Estructura lineal de la amilosa	29
Imagen 5.5	Estructura amilopectina	30
Imagen 5.6	Formación PLA	31

Imagen 5.7	Reutilización de envases	48
Imagen 7.1	Elaboración de artesanías con bolsas de plástico	55

Lista de acrónimos

ASTM	American Society for Testing and Materials
EN	European standards
EPS	Poliestireno expandido
GIZ	Gessellschaft für Internazionale Zusammenarbeit
IFAW	International Fund for Animal Welfare
LPGGIR	Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
NADF	Norma ambiental para el DF
NMX	Norma Mexicana
NOM	Norma Oficial Mexicana
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de alta densidad
PEBD	Polietileno de baja densidad
PHA	Polihidroxiclcanoatos
PHB	Polihidroxitirato
PHV	Polihidroxivalerato
PLA	Ácido Poliláctico
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PTFE	Politetrafluoretileno
PVC	Polivinilo

ROP

Ring opening polymerization

SEMARNAT

Secretaría de medio ambiente y recursos naturales

Tg

Temperatura de transición

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar distintos métodos de fabricación de bolsas biodegradables, analizando; ventajas, desventajas, factibilidad técnica y ambiental del proceso. En particular se analizó la fabricación de bolsas biodegradable utilizando como aditivo almidón por el método de extracción con modalidad de soplado.

Para cumplir con el objetivo planteado, la metodología se llevó a cabo en dos partes realizando un análisis de gabinete de las normas nacionales e internacionales que se deben seguir para la fabricación de bolsas biodegradables y en la segunda parte se propuso una forma factible para la elaboración de bolsas por el método extracción con modalidad de soplado donde se hizo un estudio caso en una fábrica de bolsas de plástico biodegradables. Se propuso el almidón de maíz como agente biodegradable.

Asimismo, se estudiaron los distintos tipos de biodegradación, bajo qué condiciones se pueden someter las bolsas para que los microorganismos lleven a cabo la biodegradación siguiendo normas internacionales que sugieren dicha operación.

Al final de esta tesis se dan alternativas para el uso de las bolsas de plástico que actualmente no cuentan con ningún tipo de aditivo o material que pueda degradar al plástico.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1. Introducción

Los desechos generados por las actividades humanas hasta mediados del siglo XX consistían principalmente en materiales biodegradables o reciclables. Al incorporarse el plástico a la vida cotidiana, una parte considerable de los desechos producidos comenzó a acumularse en el ambiente, precisamente por la resistencia a la corrosión, la intemperie y la degradación por microorganismo (biodegradación).

La degradación de los plásticos sintéticos es muy lenta. Como ejemplo, su descomposición puede tardar de 500 a 1000 años. Esta resistencia es uno de los principales problemas que presentan estos materiales en el ambiente. ^[5]

Otro problema, es que las bolsas se fabrican a partir del petróleo, que es una fuente no renovable de energía. Para solucionar este problema se han venido haciendo investigaciones y desarrollando plásticos biodegradables usando bacterias como fuente renovable. ^[1]

La razón por la cual los plásticos tradicionales no son biodegradables es porque son moléculas demasiado largas como para ser atacadas y degradadas por microorganismos. Pero los plásticos biodegradables producidos por bacterias tienen una estructura que puede ser destruida por los microorganismos. ^[22]

El polietileno, es el material más usado para la fabricación de bolsas, el cual es de gran importancia debido a sus propiedades físicas y químicas y su resistencia al ataque de microorganismos. La degradación de un polímero depende de su estructura química, morfología, peso molecular, además de sus propiedades fisicoquímicas.

El polietileno de baja densidad (PEBD) es un polímero termoplástico de cadena larga altamente ramificado. Es utilizado principalmente para producir bolsas y empaques. Por la razón que es un material muy estable, su desintegración tarda muchos años y su uso incontrolado ha ocasionado que cantidades alarmantes de este material lleguen a los basureros creando problemas ambientales.^[1]

Por esta y otras razones en años recientes se han realizado investigaciones para el desarrollo de materiales poliméricos a partir de materiales renovables y biodegradables el almidón es uno de los materiales que más beneficios tiene al ser utilizado para la fabricación de bolsas ya que proviene de una fuente renovable y posee un bajo costo.

En el presente trabajo, se hace una revisión bibliográfica estudiando y destacando cuáles pueden ser los métodos de fabricación, biodegradación y tipo de material que se puede emplear para las bolsas de plástico biodegradable.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2. Objetivos

Evaluar mediante un estudio de gabinete la normatividad y distintos métodos de fabricación de bolsas de plástico biodegradable, analizando; ventajas, desventajas de cada uno de los procesos. En particular analizar el proceso de fabricación de bolsas biodegradables utilizando como aditivo almidón por el método de extracción con modalidad de soplado.

2.1 Objetivos secundarios

- 2.1.1 Estudiar la normativa mexicana e internacional para la fabricación de bolsas biodegradables.
- 2.1.2 Revisión bibliográfica del estado de arte de las bolsas biodegradables.
- 2.1.3 Comparar los distintos métodos desarrollados hasta la fecha, probar el método más comercial y evaluar la factibilidad técnica y ambiental.

CAPÍTULO 3

IMPACTO AMBIENTAL

3.1 Impacto ambiental

En México y en el mundo existen fuertes problemas de contaminación por las bolsas de plástico que se generan, una de las problemáticas principales es el saber qué hacer con ellos después de su uso, ya que no es posible desaparecerlos tan repentinamente como han sido creados un claro ejemplo se muestra en la imagen 3.1 donde estas bolsas terminan contaminando las calles.^{[1],[2],[5]}



Imagen 3.1 Bolsas de plástico en banquetas

Esta problemática se presentó de manera general en el libro de Raquel Carson "Silent Spring", publicado en 1962 el cual rápidamente llegó a ser un "best seller". Este libro habla de insecticidas y no de plásticos inertes, pero el problema que se presenta es similar a estos polímeros, los cuales deben ser depositados en algún sitio donde no afecten al equilibrio ecológico.^[2]

Las bolsas de plástico se han convertido en un foco de alarma para las organizaciones ambientalistas y para gobiernos de muchos países del mundo. Greenpeace, el Fondo Internacional para el Bienestar Animal (IFAW) y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPAUS) coinciden en que una bolsa de plástico tarda entre 400 y mil años en degradarse, dependiendo de su tamaño y peso, lo que quiere decir que las primeras bolsas que se fabricaron, en los años 50, aún existen y están dispersas, contaminando suelos y mares.^[14]

Por otra parte, EPAUS informa que, en el mundo, cada persona usa seis bolsas de plástico por semana, 24 al mes y 288 al año. Datos del IFAW y de Greenpeace señalan que cada persona usa la bolsa de plástico un promedio de 12 minutos y sólo 1% se recicla.^{[14], [18]}

En el Distrito Federal (DF), la contaminación por bolsas de plástico es el principal problema en temporada de lluvias porque se desechan de manera indiscriminada en las calles provocando la obstrucción de alcantarillas lo que genera severas inundaciones^{[21],[28]} como se muestra en la imagen 3.2.



Imagen 3.2 Inundaciones causadas por plásticos

En la Ciudad de México se tienen identificados en el atlas de riesgos 322 puntos de inundaciones y 60% de ellos están ubicados en zonas donde se instalan mercados ambulantes^[27] como se muestra en la imagen 3.3.

El problema es cada vez más severo, pues cada año se incrementa la acumulación de residuos y bolsas en los canales de desagüe. Los mexicanos utilizamos 20 millones de bolsas al día. ^[5]



Imagen 3.3 Contaminación de plásticos en las calles.

En la fauna, el impacto es severo debido a que estas bolsas son muy duraderas y recorren largas distancias, los animales marinos quedan atrapados en los restos de plástico. Delfines, tortugas y ballenas entre otros ingieren estas bolsas creyendo que es comida y mueren asfixiadas porque no pueden digerirlas, este problema pone en aun mayor peligro de extinción a estas especies. [26], [31]

A fines del siglo XX el precio del petróleo disminuyó, y de la misma manera decayó el interés por los plásticos biodegradables. 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 petroleras se están agotando de manera alarmante.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA

4.1 Metodología

La metodología de este estudio se dividió en dos partes: en la primera se hizo un análisis de gabinete que incluyó la revisión bibliográfica y un análisis de normas nacionales así como internacionales y en la segunda parte se hizo un estudio de caso en una empresa donde se fabrican bolsas de plástico.

Para la fabricación de bolsas se utilizó polietileno de alta y baja densidad que son la materia prima al igual que el aditivo que se desee agregar en nuestro caso almidón.

A continuación se muestran los pasos para la fabricación de bolsas de plástico. Por el método de extracción con modalidad de soplado.

1. Como primer paso se mezcló el polietileno de alta y baja densidad para darle mayor resistencia a la bolsa también se agrega el aditivo que en este caso almidón para que obtenga propiedades biodegradables, en la imagen 4.1 se muestra la materia prima.



Imagen 4.1. Materia prima polietileno en gránulos.

2. En la imagen 4.2 se observa que los gránulos se agregan al contenedor de la máquina para que sean fundidos.
3. Una vez fundidos a una temperatura de 500°C se lleva a cabo la formación de una película en forma de globo, imagen 4.3



Imagen 4.2 Contenedor con gránulos de polietileno de alta y baja densidad



Imagen 4.3 Película formada a partir de la fundición de los gránulos.

4. La película que se formó sube a través de unos rodillos, la temperatura en este paso debe estar controlada.



Imagen 4.4 extracción del globo a través de rodillo

5. En este paso se obtiene la forma de la bolsa, aún sin cortar.



Imagen 4.5 Acomodo de tiraje de plástico sin moldear



Imagen 4.6 Obtención del primer tiraje sin moldear

6. En este paso se da la medida a la bolsa (ancho y largo).



Imagen 4.7 Moldeo de la bolsa

7. Se colocan los rollos de las tiras de las bolsas en una cortadora, tal como se muestra en la imagen 4.8, 4.9 y 4.10.



Imagen 4.8 Rollos de bolsas sin cortar



Imagen 4.9 Colocación de bolsas en cortadora



Imagen 4.10 Cortadora de bolsas

8. Las bolsas una vez cortadas a la medida y tamaño deseadas, son empaquetadas para su distribución y venta.



Imagen 4.11. Bolsas cortadas



Imagen 4.12 Empaquetamiento de las bolsas

Una de las grandes ventajas en este proceso de fabricación es que los residuos del proceso son 100% reciclables.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

5. Resultados

5.1 Resultados del análisis del análisis de gabinete, fundamentos teóricos

5.1.1 Polímero

Un polímero es una molécula muy grande formada por la unión de muchas moléculas llamadas monómeros.^[10] Un monómero posee una masa molecular pequeña que unido a otros monómeros forman enlaces covalentes, es así que forman macromoléculas llamadas polímeros.^[11]

Un ejemplo es el monómero del polietileno como se muestra en la imagen 5.1. La polimerización es el proceso en el cual los monómeros se combinan químicamente formando estas moléculas de cadena larga.^[8]

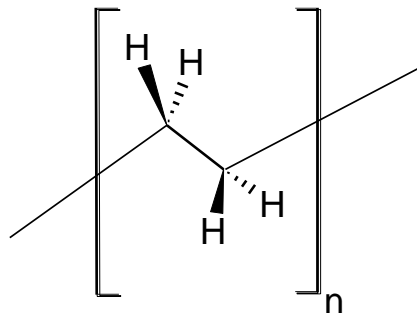


Imagen 5.1 Monómero de polietileno

5.2 Características y propiedades de los plásticos

Existen dos clases de polímeros, naturales y sintéticos. Los naturales son los polímeros cuyos monómeros son derivados de origen natural, es decir de fuentes renovables como la celulosa y la caseína entre otras. Los sintéticos son los que provienen de fuentes no renovables como el carbono.^[8]

5.3 Comportamiento térmico

Se clasifican de acuerdo a los procesos de transformación y a diferentes temperaturas de la siguiente manera:

5.3.1 Termoplásticos

- Amorfos, su principal característica son sus moléculas filamentosas y ramificadas que se encuentran en completo desorden. Esta estructura permite el paso de la luz, es por ello que los plásticos amorfos son transparentes.^{[8][4]}
- Cristalinos, cuenta con ramificaciones cortas y se aprecia cierto paralelismo dentro de los filamentos moleculares. El ordenamiento de los tramos de las macromoléculas paralelas en forma de cristales se oponen al paso de la luz provocando una apariencia lechosa.^{[8][4]}

5.3.2 Termofijos o termoestables

Estos materiales al sufrir un proceso de calentamiento-fusión y formación-solidificación, se convierten en materiales rígidos que no vuelven a fundirse, generalmente se obtienen partiendo de un aldehído.^[8]

5.3.3 Termoplásticos

Son materiales que a temperatura ambiente son muy estables. A altas temperaturas se convierten en un líquido viscoso y su cambio puede ser reversible. Están formados por macromoléculas lineales o ramificadas como el polietileno.^[8]

5.4 Polietileno

El polietileno pertenece al grupo de las poliolefinas, que provienen de hidrocarburos simples, compuestos por átomos de carbono e hidrógeno y con dobles enlaces $C=C$.^[8]

Su temperatura de fusión se encuentra entre 110 y 135°C. Su baja temperatura de transición (T_g) está asociada con una buena retención de propiedades mecánicas como lo son flexibilidad y resistencia al impacto.

5.4.1 Polietileno de baja densidad PEBD

Es un polímero amorfo con estructura ramificada, es muy flexible y es traslúcido es usado generalmente para fabricar bolsas tiene una alta resistencia al impacto.^{[8][13]} Su estructura se muestra en la imagen 5.2

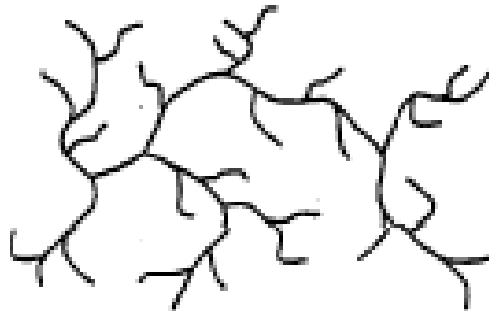


Imagen 5.2 estructura ramificada PEBD

5.4.2 Polietileno de alta densidad PEAD

Es un polímero cristalino, semirígido, con una estructura lineal como se observa en la imagen 5.3. Es menos flexible que el PEBD debido a que su peso molecular es mayor.^{[8][13],[29]}



Imagen 5.3 estructura PEAD

5.4.3 Propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas y químicas

5.4.3.1 Mecánicas

Al comparar la estructura de un metal y de un polímero, podemos observar que el metal presenta una estructura más compacta y que las fuerzas de unión son distintas a las existentes en los polímeros.^[1] La diferencia se debe a la que los polímeros tienen una estructura molecular y los metales una estructura atómica es por ello que los polímeros tienen una resistencia menor.^{[8][4]}

5.4.3.2 Térmicas

El comportamiento térmico de los polímeros también está en función de su estructura; los polímeros termo fijos son quebradizos a lo largo de todo el intervalo de temperaturas, no reblandecen y no funden.^{[1][2]}

5.4.3.3 Eléctricas

Los electrones de los plásticos no tienen movilidad, lo cual hace a que este tipo de material tenga una conductividad térmica baja, siendo aislantes térmicos.^[3]

5.4.3.4 Químicas

Los plásticos, por ser materiales inertes (no reactivos) frente a la mayoría de las sustancias sean líquidas, sólidas y gaseosas muestran mejores propiedades químicas que los materiales tradicionales como papel, madera, cartón y metales.^{[1][8]}

5.5 Evolución de los plásticos

El primer polímero sintético fue desarrollado en 1860 en Estados Unidos. John Hyatt, quien inventó este plástico lo llamó celuloide. El celuloide se fabricaba disolviendo celulosa, un hidrato de carbono obtenido de las plantas, en una solución de alcanfor y etanol. El celuloide puede ser

ablandado repetidamente y moldeado de nuevo mediante calor, por lo que recibe el calificativo de termoplástico.^[1]

Los resultados alcanzados por los primeros plásticos llevaron a los químicos y a la industria a buscar otras moléculas sencillas que pudieran enlazarse para crear polímeros. En la década de los 30, químicos ingleses descubrieron que el gas etileno polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, formando un termoplástico al que llamaron polietileno (PE). Hacia los años 50 aparece el polipropileno (PP).^[8]

Al reemplazar en el etileno un átomo de hidrógeno por uno de cloruro se produjo el cloruro de polivinilo (PVC), un plástico duro y resistente al fuego, especialmente adecuado para cañerías de todo tipo. Un plástico parecido al PVC es el politetrafluoretileno (PTFE), conocido popularmente como teflón y usado para rodillos y sartenes antiadherentes.^[17]

Otro de los plásticos desarrollados en los años 30 en Alemania fue el poliestireno (PS), un material transparente comúnmente utilizado para vasos. El poliestireno expandido (EPS), una espuma blanca y rígida, es usado básicamente para embalaje y aislante térmico.

El polietileno de baja densidad (PEBD o LDPE) es el primer polímero de etileno y se descubrió en 1939 en Gran Bretaña. Se obtiene a partir del etileno, sometiéndolo a altas temperaturas y presión, en presencia de un catalizador de radicales libres y se diferencia del de alta densidad porque el PEBD es mucho más ramificado.^{[8][4]}

Es un plástico semicristalino, flexible, blanquecino, inodoro e insípido, con excelentes propiedades eléctricas y poca resistencia a elevadas temperaturas. Es utilizado en bolsas de plástico, sobre todo para basura, pero también se utiliza para embalajes industriales, impermeabilización de terrenos, edificios, contenedores, tuberías, etc.^[20]

Las bolsas de plástico pueden estar hechas de polietileno de baja densidad, polietileno lineal, polietileno de alta densidad o de polipropileno, polímeros de plástico no biodegradable.

Las bolsas de plástico rápidamente se hicieron muy populares en los años 70, especialmente a través de su distribución gratuita en supermercados y otras tiendas. También son una de las formas más comunes de acondicionamiento de la basura doméstica. Anualmente, circulan en todo el mundo entre 500 mil millones y un billón de estos objetos.^[18]

Existen diferentes tipos de bolsas de plástico según su función; si es transportar mercancías desde un supermercado por ejemplo, se denomina bolsa de tipo camiseta, por la forma de las asas, es una bolsa económica y con poco material, hecha de Polietileno de Alta Densidad.

Otro tipo de bolsa de plástico es una bolsa donde se envasan alimentos altamente higroscópicos, como harina, galletas o pasta, que es una laminación de Polipropileno que permite protegerlas de la humedad.

Hay otras bolsas de plástico que se utilizan para formar bultos de azúcar, papas, etc., hasta de 50 kilos, y facilitan su protección y transporte a mercados. En general el proceso de fabricación de una bolsa de plástico incluye la extrusión de la resina, por método de soplado. Es una industria grande a nivel mundial que permite la conservación y transporte de alimentos.^[1]

Se han buscado nuevas alternativas a través de los años descubriendo así una nueva clase de polímeros los cuales son llamados verdes. Este tipo de plásticos pueden ser degradados por microorganismos en una o varias etapas como es el caso de los oxo-biodegradables.

La fabricación de plásticos biodegradables a partir de materiales naturales, es uno de los grandes retos en diferentes sectores; industriales, agrícolas, etcétera. Los plásticos obtenidos de otras fuentes han tomado un nuevo impulso y los polihidroxicanoatos aparecen como una alternativa altamente prometedora.^[15]

La sustitución de los plásticos actuales por plásticos biodegradables es una vía por la cual el efecto contaminante, se vería disminuido en el medio ambiente^[15]. Los desechos de plásticos biodegradables pueden ser tratados como desechos orgánicos y eliminarlos en los depósitos sanitarios, donde su degradación se realice en cortos períodos de tiempo.

Los polímeros biodegradables se pueden clasificar de la siguiente manera^[3]:

- Polímeros extraídos o removidos directamente de la biomasa: polisacáridos como almidón y celulosa. Proteínas como caseína, queratina y colágeno.
- Polímeros producidos por síntesis química clásica utilizando monómeros biológicos de fuentes renovables.
- Polímeros producidos por microorganismos, bacterias productoras nativas o modificadas genéticamente.^[3]

5.5.1 Polihidroxicanoatos (PHA)

Los plásticos biodegradables producidos por bacterias, en este grupo encontramos a los PHA y al ácido poliláctico (PLA)^{[13][23]}. Los PHA debido a su origen de fuentes renovables y por el hecho de ser biodegradables, se denominan “polímeros doblemente verdes”.

Los PHA son insolubles en agua, biodegradables, no tóxicos, por lo cual uno de los principales beneficios que se obtienen de la aplicación de PHA es el ambiental^[23]. La utilización de estos productos, reduce la dependencia del petróleo por parte de la industria plástica, provoca una disminución de los residuos sólidos y se observaría una reducción de la emisión de gases que provocan el efecto invernadero.

5.5.2 Ácido poliláctico (PLA)

El PLA, es un monómero natural producido por vías fermentativas a partir de elementos ricos en azúcares, celulosa y almidón. El almidón es un polímero natural, un gran hidrato de carbono que las plantas sintetizan durante la fotosíntesis que sirve como reserva de energía. Los cereales como el maíz y trigo contienen gran cantidad de almidón y son la fuente principal para la producción de PLA. Los bioplásticos producidos a partir de este polímero tienen la característica de una resina que puede inyectarse, extruirse y termoformarse.

La producción de este biopolímero empieza con el almidón que se extrae del maíz, luego los microorganismos lo transforman en una molécula más pequeña de ácido láctico, la cual es la materia prima que se polimeriza formando cadenas, con una estructura molecular similar a los productos de origen petroquímico, que se unen entre sí para formar el plástico llamado PLA^[22].

El PLA es uno de los plásticos biodegradables actualmente más estudiados, se encuentra disponible en el mercado desde 1990. Es utilizado en la fabricación de botellas transparentes para bebidas, bandejas de envasado para alimentos y otras numerosas aplicaciones.^{[23][25]}

5.6 Almidón

Es un polvo blanco que al entrar en contacto con el agua absorbe demasiada y los granos se llegan a inflar cuando el agua se calienta estos granos se rompen irreversiblemente a este proceso se le llama fusión del almidón.^{[4][1]}

El almidón está constituido por una mezcla de polisacáridos, amilosa y amilopectina. La amilosa es un polímero que contiene unidades de anhidro glucosas que están presentes y unidas en mayor parte por enlaces glucosídicos $\alpha(1-4)$ y una pequeña ramificación en los enlaces $\alpha(1-6)$ esta molécula tiene propiedades hidrofílicas gracias a la presencia de los grupos hidroxilo.^[3] Su estructura se muestra en la imagen 5.4.

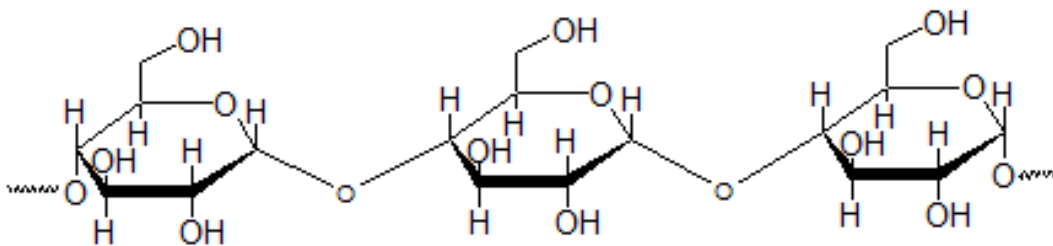


Imagen 5.4 estructura lineal de amilosa

La amilopectina cuenta con moléculas más grandes que la amilosa y contiene enlaces glucosídicos en $\alpha(1-4)$ y $\alpha(1-6)$ su estructura molecular es semejante a la de un árbol se puede observar su estructura en la imagen 5.5

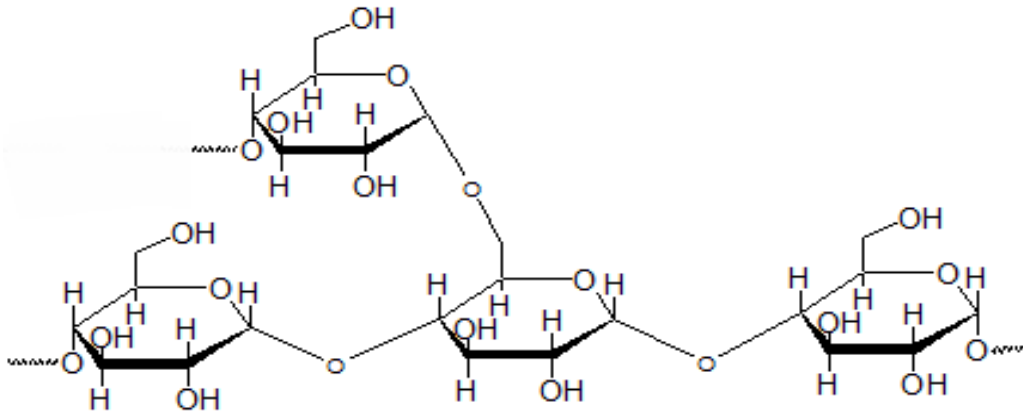


Imagen 5.5 estructura amilopectina

La fusión del almidón se puede lograr aumentando la presión y bajando la humedad sin cambio de temperatura. Al adicionar glucosa en las cadenas α -1,4 y α -1,6 en el almidón, los grupos hidroxilo de los carbonos 1 y 2 se modifican químicamente obteniendo nuevas y útiles propiedades como producir reacciones de sustitución para formar ésteres de almidón o éteres de almidón y también producir reacciones de oxidación en los grupos hidroxilo.^{[9],[13]}

5.7 Polimerización del ácido láctico para obtener el ácido poliláctico (PLA)

El PLA puede obtenerse por condensación directa del ácido láctico o bien por polimerización tras la apertura del anillo de L-lactida (ROP: ring opening polymerization). Puesto que la condensación es una reacción de equilibrio, existen dificultades para eliminar cierta cantidad de agua durante las últimas etapas de la polimerización lo cual limita el peso molecular del polímero obtenido por este método.^[13]

En consecuencia la mayoría de las investigaciones se han centrado en el método ROP imagen 5.6, usando un disolvente que permite un proceso de esterificación directo y finalmente obtener PLA de elevado peso molecular.

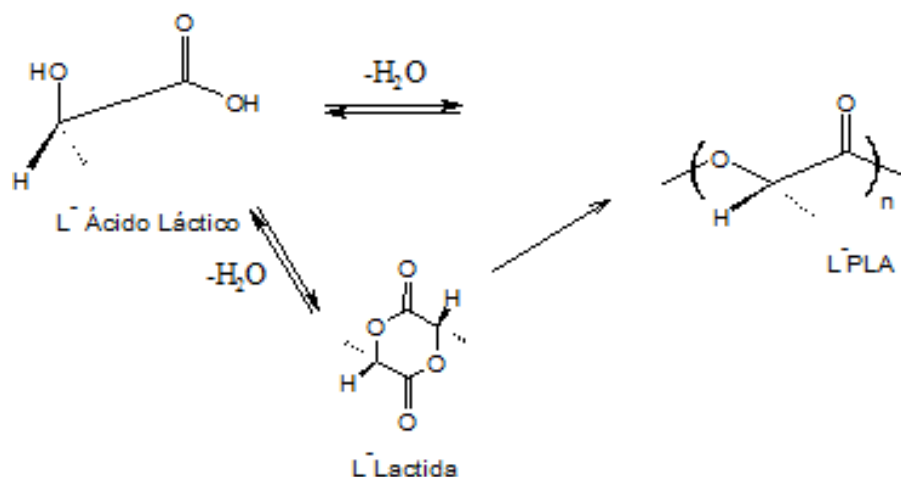


Imagen 5.6 formación de PLA

Es ópticamente activo y por lo general las bacterias deseables que actúan tienden a producir únicamente L-estereoisómeros, mientras que métodos sintéticos producen en su mayoría una mezcla racémica de ácido láctico. La mezcla de los estereoisómeros D y L es amorfa, sin embargo, la L-lactida produce una estructura cristalina de PLA llamada PLLA (ácido poli-L-láctico)

5.7.1 Polimerización del ácido láctico con apertura del anillo.

Éste método incluye policondensación del ácido láctico seguido de una despolimerización a fin de obtener el dímero cíclico deseado, la lactida, que es un polímero de alto peso molecular.

La despolimerización permite aumentar la temperatura de policondensación y disminuir la presión y destilación de la lactida producida. La ventaja de la polimerización por ROP es que la reacción se puede controlar más fácilmente. También se ha conseguido obtener un polímero de elevado peso molecular mediante un único paso de policondensación gracias a un disolvente azeotrópico apropiado.

5.7.2 Etapas de polimerización del PLA, utilizando ácido láctico como base.

El proceso comienza con una reacción de condensación continua del ácido láctico en medio acuoso para producir un polímero de bajo peso molecular. Posteriormente el polímero se convierte en una mezcla de estereoisómeros del ácido láctico mediante una catálisis de estaño (Sn) permitiendo una reacción intramolecular de ciclización más selectiva. La mezcla de ácido láctico es entonces purificada mediante una destilación en vacío. Finalmente, el PLA de alto peso molecular se forma a partir del método ROP en presencia del catalizador de estaño. Este sistema elimina el uso costoso y contaminante de disolventes.

5.8 Biodegradación

Los bioplásticos presentan propiedades fisicoquímicas y termoplásticas iguales a las de los polímeros fabricados a partir del petróleo, pero una vez depositados en condiciones favorables, se biodegradan. ^[3]

Se le aplica el término biodegradable a aquellos materiales que se degradan por vía microbiana; los cuales, se degradan en dos pasos. El primer paso consiste en que el aditivo que contiene la bolsa, oxide las cadenas de polietileno a este paso se le llama oxo-degradación. El segundo paso es la biodegradación, en el cual los restos de la bolsa son consumidos por microorganismos los cuales producen CO₂, biomasa y humus.

- Biomasa, es la materia orgánica en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.
- Humus, es una sustancia compuesta por productos que provienen de la composición de los restos orgánicos y que suelen encontrarse en las partes altas de los suelos con actividad

orgánica. Es el grado superior de descomposición de la materia orgánica.

La fabricación de este tipo de bolsas se rige por la ASTM D6954^[16]. Por otro lado se pueden generar algunos gases de efecto invernadero como lo son el CO₂ y metano los cuales pueden ser tratados en los rellenos sanitarios utilizando gaseoductos y dando un trato amigable al ambiente en su disposición final^[24].

5.8.1 Tipos de biodegradación

Un envase de plástico degradable es aquel que está constituido por un material plástico que permite mantener completamente la integridad física de su manufactura. Al finalizar su vida útil es desechado y comienza a cambiar químicamente por influencia de agentes ambientales, y puede ser transformado en sustancias simples o en componentes menores que eventualmente se asimilan al medio ambiente.^[13]

Si los agentes son de origen biológico, microorganismos (bacterias, hongos, etc) el material se denomina biodegradable. Los plásticos son principalmente biodegradables o fotobiodegradables, existen distintas formas de biodegradación^[14] como se muestra en la tabla 5.1.

Para que un polímero sea susceptible al ataque microbiano depende de su estructura, morfología, peso molecular y área superficial, además de varias propiedades físicas y químicas. Los parámetros fisicoquímicos inhiben la movilidad de las cadenas poliméricas, disminuyen la biodegradabilidad.^[15]

Entre estos se encuentran anillos aromáticos en la cadena principal, el grado de cristalinidad, la presencia de grandes cadenas poliméricas y altas densidades de entrecruzamiento. La recalcitrancia biológica del PE

se debe a su tamaño molecular, insolubilidad, hidrofobicidad y la falta de una cadena terminal susceptible al ataque enzimático; en un polímero las cadenas terminales pueden ser inaccesibles debido a su configuración molecular plegada.

Tabla 5.1 tipos de biodegradación

TIPO DE DEGRADACIÓN	AGENTE QUE PROVOCA LA DEGRADACIÓN
Fotoquímica	Luz ultravioleta y visible
Foto oxidación	Luz y oxígeno
Radiación de alta energía	Rayos x, rayos γ
Biológica o biodegradación	Microorganismos
Química	Ácidos, álcalis, solventes
Térmica, Pirólisis	Calor
Oxidación, ozonólisis	Oxígeno, ozono

Fuente: Hernández,G.H.Tesis UAM

Se mencionarán algunas formas de biodegradación.

5.8.1.1 Biodegradables

Son materiales que pueden descomponerse de forma aerobia o anaerobia por efecto de los microorganismos como lo son bacterias, hongos y algas. Los materiales son degradados por acción enzimática de los microorganismos bajo condiciones normales del ambiente. Estos materiales pueden ser obtenidos por vía fermentativa y son denominados como biopolímeros. Existen los biopolímeros del tipo

polihidroxibutirato (PHB/polihidroxivalerato (PHV), el pululano (polisacárido), el PLA (ácido poliláctico), etc.

Existen biopolímeros que son producidos directamente por las bacterias que se desarrollan en gránulos de un plástico llamado polihidroxialcanoato (PHA) dentro de la célula misma.

5.8.1.2 Compostable

En este proceso los materiales desarrollan una descomposición biológica para producir dióxido de carbono, agua, compuestos inorgánicos y biomasa. El compostaje normalmente se realiza como un proceso de reciclado de la fracción orgánica (restos de comida).

5.8.1.3 Oxo-degradable

Son materiales que desarrollan la descomposición vía un proceso de etapas múltiples usando aditivos químicos para iniciar la degradación. La primera etapa de la degradación puede ser iniciada por la luz ultravioleta de la radiación solar, calor, tensión mecánica, etc., se reduce el peso molecular del polímero debido a la ruptura de las cadenas moleculares quedando un remanente de muy bajo peso molecular que sería susceptible de desarrollar un proceso de biodegradación con el tiempo. Una desventaja de los polímeros oxo-biodegradables es que si se reciclan mezclados con polímeros comunes éstos se tornan degradables con lo que se impide su reciclado a usos de larga duración como tubos, cables, etc.

5.8.1.4 Foto-degradable

Este proceso se basa en que la energía de la luz ultravioleta procedente de la luz solar es mayor que la energía de unión en los enlaces moleculares C-C y C-H por lo tanto, rompen las cadenas moleculares reduciendo su peso molecular y propiedades mecánicas.

5.8.1.5 Solubles en agua

Son materiales que se solubilizan en presencia de agua, usualmente dentro de un rango específico de temperatura y luego se biodregadan mediante la acción de los microorganismos. Pueden ser de origen natural como los polisacáridos por ejemplo el almidón y la celulosa.

5.9 Métodos para medir la biodegradación

Existen normas internacionales que regulan y miden la velocidad de los procesos de degradación y de biodegradación tanto en Estados Unidos como en Europa. Las más conocidas son:

- **Estados Unidos:**

ASTM D6400-99 "Especificación Standard para los plásticos compostables" que es una norma que establece los requisitos y la norma ASTM D5338-98 "Método de ensayo standard para la determinación de la degradación aeróbica de los materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje" que es una norma de procedimiento para medir la degradación aeróbica.

- **Europa:**

EN 13432 "Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación" y la norma EN 14855 "Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final y desintegración de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas" que es la norma que describe el procedimiento del análisis.

El objetivo de estas normas es especificar los plásticos y los productos fabricados con plásticos que son designados como compostables en

instalaciones municipales o industriales de compostaje aeróbico; así como los requerimientos para que productos para envasado puedan llevar la inscripción ó etiqueta "Compostable en instalaciones industriales o municipales".

Además las propiedades de estas especificaciones son las requeridas para determinar si los productos fabricados con los plásticos se compostan adecuadamente incluyendo la biodegradación a una velocidad compatible con materiales que normalmente se someten al proceso de compostaje (por ejemplo restos de comestibles). Así mismo las propiedades requeridas en las normas son las necesarias para determinar que el proceso de degradación de estos materiales no disminuya la calidad y el valor de la composta resultante.

La característica de degradación es iniciada en el momento de la extrusión del polietileno, poliestireno o polipropileno, a través de la incorporación de una pequeña cantidad de un aditivo especial. Tal aditivo funciona a través de la descomposición de las ligaduras carbono-carbono en el plástico, lo que lleva a una disminución del peso molecular y, al final una pérdida de resistencia y otras propiedades.

Son utilizados estabilizantes para garantizar una vida útil suficientemente larga para cada aplicación específica. Por ejemplo, una bolsa para residuos puede exigir una vida útil de 18 meses antes de perder la resistencia, mientras que un embalaje para pan podrá necesitar de apenas algunas semanas.

5.9.1 Aditivos

Usualmente los polímeros necesitan la ayuda de uno o más aditivos o modificadores para cumplir con su función ya que casi nunca se utilizan

en forma individual y sin la presencia de estos aditivos, algunas aplicaciones de los materiales plásticos no existirían.

En un principio, la función de los aditivos y modificaciones fue vencer algunas limitaciones en los materiales plásticos. Por ejemplo, para convertir el PVC rígido en flexible, para proteger de los efectos de la degradación producida por el calor y la luz así como para mejorar la resistencia al fuego.

Algunos aditivos son capaces de cambiar la forma y función de los plásticos y mejorar sus propiedades físicas. Por ejemplo los agentes de acoplamiento mejoran los enlaces interfaciales entre resina y carga para aumentar las propiedades físicas y los modificadores de impacto aumentan la resistencia de los plásticos.

La tecnología de aditivos oxo-biodegradable presume de convertir el material en dióxido de carbono, agua y biomasa, cuando en la realidad, la mayoría de las empresas que la desarrollan, usan plásticos no degradables, los residuos que sobreviven a este proceso son altamente contaminantes.^[31]

Un químico Oxo-degradable, en realidad es un aditivo de poliolefina que ayuda a degradar al polietileno, en el caso de las bolsas de supermercado que están fabricadas con sustancias altamente perjudiciales para el medio ambiente, al desintegrarse permanecen en la tierra durante cientos de años.

Podemos decir que el almidón al emplearlo como aditivo en la fabricación de bolsas biodegradables no acarrearía consecuencias

negativas debido a que es un compuesto netamente natural y no contiene ningún metal pesado.

5.9.2 Métodos de fabricación de bolsas de polietileno y biodegradables

a) Obtención y fabricación del plástico

La fabricación de los plásticos y sus manufacturados implica cuatro pasos básicos: obtención de las materias primas, síntesis del polímero básico, obtención del polímero como un producto utilizable industrialmente y moldeo o deformación del plástico hasta su forma definitiva.

b) Materias primas

En un principio, la mayoría de los plásticos se fabricaban a partir de resinas de origen vegetal, como la celulosa (del algodón), el furfural (de la cáscara de la avena), aceites de semillas y derivados del almidón o del carbón. La caseína de la leche era uno de los materiales no vegetales utilizados.

A pesar de que la producción del nylon se basaba originalmente en el carbón, el aire y el agua, la mayoría de los plásticos se elaboran hoy con derivados del petróleo los cuáles escasean de manera significativa.

c) Síntesis del polímero

El primer paso en la fabricación de un plástico es la polimerización. Como se comentaba anteriormente, los dos métodos básicos de polimerización son las reacciones de condensación y las de adición. Estos métodos pueden llevarse a cabo de varias maneras.

En la polimerización en masa se polimeriza sólo el monómero, por lo general en una fase gaseosa o líquida, si bien se realizan también algunas polimerizaciones en estado sólido. Mediante la polimerización en disolución se forma una emulsión que se coagula inmediatamente.

En la polimerización por interfase los monómeros se disuelven en dos líquidos inmiscibles y la polimerización tiene lugar en la interfase entre los dos líquidos.

d) Aditivos

Con frecuencia se utilizan aditivos químicos para conseguir una propiedad determinada. Por ejemplo, los antioxidantes protegen el polímero de degradaciones químicas causadas por el oxígeno o el ozono. De una forma parecida, los estabilizadores lo protegen de la intemperie. Los plastificantes producen un polímero más flexible, los lubricantes reducen la fricción y los pigmentos colorean los plásticos.

e) Forma y acabado

Las técnicas empleadas para conseguir la forma final y el acabado de los plásticos dependen de tres factores: tiempo, temperatura y deformación. La naturaleza de muchos de estos procesos es cíclica, si bien algunos pueden clasificarse como continuos o semicontínuos. Una de las operaciones más comunes es la extrusión.

Una máquina de extrusión consiste en un aparato que bombea el plástico a través de un molde con la forma deseada. Los productos extrusionados, como por ejemplo los tubos, tienen una sección con forma regular. La máquina de extrusión también realiza otras operaciones, como moldeo por soplado o moldeo por inyección. Otros procesos utilizados son el moldeo por compresión, en el que la presión

fuerza al plástico a adoptar una forma concreta, y el moldeo por transferencia, en el que un pistón introduce el plástico fundido a presión en un molde.

5.9.3 Técnicas de fabricación

a) Moldeo por inyección

Un émbolo o pistón de inyección se mueve rápidamente hacia adelante y hacia atrás para empujar el plástico ablandado por el calor a través del espacio existente entre las paredes del cilindro y una pieza recalentada y situada en el centro del mismo pistón. Esta pieza central se emplea, dada la pequeña conductividad térmica de los plásticos, de forma que la superficie de calefacción del cilindro es grande y el espesor de la capa plástica calentada es pequeño. Bajo la acción combinada del calor y la presión ejercida por el pistón de inyección, el polímero es lo bastante fluido como para llegar al molde frío donde toma forma la pieza en cuestión. El polímero estará lo suficientemente fluido como para llenar el molde frío. Pasado un tiempo breve dentro del molde cerrado, el plástico solidifica, el molde se abre y la pieza es removida. El ritmo de producción es muy rápido, de escasos segundos.

b) Moldeo por extrusión

En el moldeo por extrusión se utiliza un transportador de tornillo helicoidal. El polímero es transportado desde la tolva, a través de la cámara de calentamiento, hasta la boca de descarga, en una corriente continua. A partir de gránulos sólidos, el polímero emerge de la matriz de extrusión en un estado blando. Como la abertura de la boca de la matriz tiene la forma del producto que se desea obtener, el proceso es continuo. Posteriormente se corta en la medida adecuada.

c) Moldeo por insuflación de aire

Es un proceso usado para hacer formas huecas (botellas, recipientes). Un cilindro plástico de paredes delgadas es extruído y luego cortado en el largo que se desea. Luego el cilindro se coloca en un molde que se cierra sobre el polímero ablandado y le suprime su parte inferior cortándola. Una corriente de aire o vapor es insuflado por el otro extremo y expande el material hasta llenar la cavidad. El molde es enfriado para el fraguado

5.9.4 Normatividad para la sustitución de bolsas biodegradables

En México, no existe alguna norma donde se manifieste cómo debe ser la fabricación de las bolsas de plástico y plástico biodegradable. Hace algunos años se empezó a debatir sobre esta problemática desafortunadamente no se le ha dado seguimiento y se encuentra detenido este proyecto.

A nivel estatal existe en la Ley General Para la Prevención y Gestión Integral De Los Residuos (LGPGIR) un apartado en el cual se hace mención sobre la distribución de las bolsas de plástico biodegradable regulando su uso en los establecimientos mercantiles que se encuentran en el artículo 7 fracción XX. Estados como Quintana Roo y Guadalajara cuentan con la misma ley de distribución de bolsas de plástico biodegradable

“El 19 de Agosto de 2009 los establecimientos en la Ciudad de México, desde los centros comerciales hasta tiendas, no podrán entregar bolsas de plástico a sus clientes”. Ley que se encuentra en el artículo 25 de la Ley de Residuos Sólidos del D.F. ^[6] No obstante, hay excepciones a la ley "Los establecimientos mercantiles, productores, prestadores de servicios y comerciantes podrán utilizar materiales de plástico

únicamente en los casos que por cuestiones de asepsia o conservación de alimentos o insumos no resulte factible el uso de tecnologías biodegradables como sustitutos". [5]

A partir de las reformas y adiciones a la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal publicadas en noviembre de 2008, fue necesario integrar un grupo de trabajo para revisar y determinar las características que deberán cumplir las bolsas de plástico para ser consideradas biodegradables. [6]

Las bolsas de plástico deben incluir en su presentación, además del plástico tradicional, un aditivo u otro compuesto que ayude al procedimiento de degradación, el cual se llevará a cabo por los microorganismos. Este tipo de bolsas de plástico biodegradable se ha empleado por algunas empresas alimenticias y cadenas comerciales como Bimbo, Soriana respectivamente por mencionar algunas. [6]

El 18 de Agosto de 2010 en la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal entró en vigor la prohibición a la entrega de bolsas de plástico no biodegradable en centros comerciales, con el fin de erradicar los problemas que conlleva el desperdicio de este material al medio ambiente. [7]

El 26 de Julio de 2011 la Secretaría del Medio Ambiente del DF dio a conocer a través de la Gaceta Oficial del Distrito Federal los criterios y normas para la producción y consumo sustentable de las bolsas de plástico la cual especifica que se debe agregar el 10% de aditivo a la bolsas para que sea degradada en un plazo no mayor a los 10 años.

Una de las condiciones que marca esta ley es vender bolsas biodegradables a los consumidores, las cuales, deben tener un aditivo el cuál su principal función es que la bolsa se biodegrade en el ambiente a

este proceso se le llama oxo-biodegradación, este proceso consiste en dos pasos primero se oxida y después se degrada. Estas características están descritas en la norma internacional ASTM D6954-04^[17] que dice:

"Este producto posteriormente se biodegradará en un periodo de 24 a 36 meses en tierra o en un relleno sanitario en presencia de microorganismos, calor, humedad y oxígeno, descomponiéndose en elementos encontrados en la naturaleza".^[19]

5.9.5 Normas internacionales

Pero no sólo existe esta norma para los plásticos, existen otras normas internacionales que se enlistan a continuación:

1. ASTM 5247 Determina la biodegradación anaeróbica de plásticos degradables por microorganismos específicos.
2. ASTM 5210-92 Determina la biodegradación anaeróbica de materiales plásticos en presencia de lodos residuales municipales.
3. ASTM 5526-94 Determina la biodegradación anaeróbica de materiales plásticos en condiciones aceleradas de relleno sanitario.
4. ASTM G 21-96 Determina la resistencia de materiales poliméricos sintéticos a hongos.
5. ASTM 5988-96 Determina la biodegradación aeróbica en suelos de materiales plásticos o residuos plásticos después de composteo.
6. ASTM 6002-96 Evalúa la posibilidad de composteo de plásticos degradables ambientalmente.
7. ASTM 6003-96 Determina la pérdida de peso de los materiales plásticos expuestos a ambientes simulados de composteo aeróbico de residuos sólidos municipales.
8. ASTM 5338-98 Determina la biodegradación aeróbica de plásticos por microorganismos específicos.

9. ASTM 6400-99 Especificación de estándares para plásticos de composteo.

5.9.6 Normas para la fabricación de bolsas en el DF.

A continuación se mencionan las normas que servirán para la fabricación, mantenimiento y uso de bolsas de plástico decretado en la GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL EL 26 DE JULIO DE 2011.

Normas para los establecimientos de fabricación

- Norma Oficial Mexicana NOM-005-STPS-1998, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.

Normas para control de emisiones

- Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-011-AMBT-2007, que establece los límites máximos permisibles de emisiones de compuestos orgánicos volátiles en fuentes fijas de jurisdicción del distrito federal que utilizan solventes orgánicos o productos que los contienen.
- Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM10 y partículas menores de 2.5 micrómetros PM2.5 de la calidad del aire ambiente. Criterios para evaluar la calidad del aire.

Normas para determinar resistencia

- NMX-E-112 Industria del plástico. Resistencia al rasgado de películas y laminados de plásticos - Método de prueba; así como aquellos que con posterioridad sean aprobados y reconocidos para bolsas reusables y de un solo uso.
- UNE-EN ISO 7765-1.- Películas y láminas de plástico. Determinación de la resistencia al impacto por el método de caída de dardo. Parte 1: método de la escalera.
- NMX-E-122-1986 Plásticos para uso Agrícola-Envejecimiento acelerado de películas plásticas-Método de Prueba.
- UNE-EN ISO 527-3.- Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 3: condiciones de ensayo para películas y hojas; en su momento, podrán ser considerados estándares que con posterioridad sean aprobados y reconocidos para bolsas reusables y de un solo uso.

Normas para la identificación y tipo de material

- NMX-E-232-CNCP-2005 Industria del Plástico-Reciclado -Símbolos de Identificación de Plásticos.
- NMX-E-233-CNCP-2005 Industria del Plástico- Reciclado-Terminología.
- UNE-EN 13432:2001 Envases y embalajes – Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación – Programa de ensayo y criterios de evaluación para la aceptación final del envase o embalaje.

- UNE 53942:2009.- Plásticos. Bolsa reutilizable de polietileno (PE) para el transporte de productos distribuidos al por menor. Requisitos técnicos, criterios ambientales y métodos de ensayo.

Normas para compostaje de las bolsas de plástico biodegradable

- ASTM D6400 - 04 Standard Specification for Compostable Plastics.
- ASTM D5526 - 94e1 Standard Test Method for Determining Anaerobic Biodegradation of Plastic Materials Under Accelerated Landfill Conditions.
- ASTM D6776 - 02 Standard Test Method for Determining Anaerobic Biodegradability of Radiolabeled Plastic Materials in a Laboratory-Scale Simulated Landfill Environment.
- ASTM D6954 - 04 Standard Guide for Exposing and Testing Plastics that Degrade in the Environment by a Combination of Oxidation and Biodegradation.^[30]

5.9.7 Resultados estudio caso

Comparando los métodos de fabricación de bolsas, el método de extracción con modalidad de soplado es el que tiene la mayor preferencia para la fabricación de bolsas biodegradables debido a que es una máquina 100% amigable con el ambiente esto quiere decir que el equipo de soplado al no consumir combustibles fósiles , no desprende ningún tipo de emisión que pueda ser peligroso al ambiente, la base de su funcionamiento es la energía eléctrica.

Por otra parte, una de las ventajas que se observaron en el procedimiento de fabricación fue que se pueden emplear envases de plástico como se muestra en la imagen 5.7 estos materiales suelen ser contenedores de suavizantes, blanqueadores y detergentes los cuales están conformados principalmente por polietileno de alta densidad (PEAD).



Imagen 5.7 reutilización de envases

También, al analizar los métodos de biodegradación el mejor para poder degradar este tipo de bolsas es el fotodegradable debido a que los rayos UV que provienen del sol rompen las cadenas C-C obviamente conviene si el aditivo que contiene la bolsa de plástico es almidón debido a que si se dejase a la intemperie este material se biodegradaría generando CO_2 , humus y biomasa. De la misma forma también es aceptable la degradación oxo-biodegradable con la diferencia de que esta se lleva en dos pasos, primeramente se lleva a cabo una oxidación para romper las cadenas de carbono y posteriormente el ataque de los microorganismos.

Esta tecnología se llama TDPA (Totally degradable plastic additives). De acuerdo con las normas ASTM D-6954 para la fabricación de bolsas biodegradables las definen como un material con la capacidad de descomponerse en bióxido de carbono, metano, agua, compuestos inorgánicos o biomasa mediante mecanismos enzimáticos por la acción de microorganismos en un periodo máximo de dos años, en condiciones normales de medio ambiente (principalmente basados en almidón de maíz, trigo o papa).

La mezcla de PE con almidón tiene una fase continua de almidón que hace al material hidrofílico y luego es catalizado por enzimas de amilasa. Los microorganismos pueden acceder fácilmente a este producto, atacar y remover esta parte. Así, el polietileno hidrofílico, con una matriz continua, es hidro-biodegradado.

En caso de utilizar un aditivo pro-oxidante, la biodegradación ocurre siguiendo una fotodegradación y una degradación química. Si el pro-oxidante es una combinación de metales, después de la transición, el metal es catalizado térmicamente por peroxidación y la biodegradación de los productos de bajo peso molecular obtenidos por oxidación ocurre de forma secuencial.

La biodegradabilidad de un material radica en su estructura molecular; la cadena polimérica debe ser flexible y tener una configuración que le permita formarse dentro del sitio activo de enzimas degradativas, provenientes de ciertos microorganismos. En la naturaleza, los polímeros se degradan preferencialmente por reacciones hidrolíticas, y la presencia de enlaces éster, éter o amida facilitan la degradación por vía biológica.

La biodegradación está también influenciada por una serie de parámetros del entorno, tales como las características fisicoquímicas

(temperatura, pH, potencial redox, contenido de agua y oxígeno) y microbiológicas (densidad de población, diversidad y actividad microbiana) de un ecosistema. Por otro lado, las propiedades originales (composición, peso molecular, cristalinidad, hidrofobicidad), así como el tipo de material (características de superficie, presencia de aditivos, grosor del material, entre otros) son factores que influyen en el rango de biodegradación de los plásticos.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones

De acuerdo a lo investigado y analizado anteriormente, podemos decir que la norma internacional para la fabricación de bolsas biodegradables ASTM D6954-04 queda bien implementada ya que las bolsas fabricadas con aditivos TDPA cumplen con las características que esta norma establece.

Cabe mencionar que en algunos estudios realizados por la Sociedad para la Cooperación Internacional (GIZ de Chile) y la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) de México, las bolsas de PEAD Y PEBD con o sin aditivos presentaron mayores impactos negativos al ambiente. Esto quiere decir que no se reutilizan las bolsas dando un uso indiscriminado y tirándolas a la calle provocando inundaciones así como impactos en el hábitat marino.

En términos de biodegradación, como se establece en la ASTM D6954 es factible utilizar este tipo de bolsas con tecnología TDPA no obstante, se ha dicho que este tipo de bolsas son altamente dañinas al ambiente debido a que contienen metales pesados que contaminan los suelos, se puede implementar el uso al 100% de polihidroxicanoatos ya que son polímeros naturales y pueden sustituir el uso del petróleo para obtener polietileno

En la industria, utilizar los métodos de fabricación más amigables con el ambiente como el caso del método de extracción con modalidad de soplado que se estudió en este trabajo.

Por otro lado en el estado del arte, se encontró que los distintos métodos de fabricación así como la utilización de aditivos para la aceleración en la biodegradación han ido cambiando continuamente, hasta el momento, se puede decir que los métodos de fabricación en su

mayoría son factibles. En tanto a los aditivos es necesario apuntar que por el momento el almidón de maíz es el más adecuado para utilizar al menos en México ya que fabricar bolsas con hidroxialcanoatos es caro. Actualmente, en el mercado los precios de las bolsas de plástico biodegradable oscila entre los \$36 el kilogramo, mientras que las bolsas de polietileno sin aditivo tienen un valor de \$40 el kilogramo.

Por último, la implementación de la norma para la fabricación de bolsas biodegradables en el Distrito Federal por el momento se encuentra detenida ya que los grupos de trabajo no llegaron a ningún acuerdo para el desarrollo de esta.

CAPÍTULO 7

RECOMENDACIONES

7.1 Recomendaciones

A continuación se dan algunas recomendaciones que pueden ser de bastante utilidad para resolver el problema de las bolsas de plástico.

1. Reutilizar las bolsas de plástico cuando las personas acudan al centro comercial.
2. Usar bolsas de tela para acudir al supermercado y reducir el uso indiscriminado de bolsas de plástico
3. Utilizar las bolsas en casa para los contenedores de basura orgánica e inorgánica.
4. Fomentar la cultura del reciclaje en los niños y concientizar sobre el impacto ambiental que estas pueden ocasionar si no se les da un buen trato.
5. Las bolsas de papel aunque son totalmente degradables no es recomendable usarlas como una opción viable debido a que en su producción se gasta mucha agua especialmente si se utiliza papel reciclado.
6. Realizar algún tipo de artesanía utilizando las bolsas de plástico, como bien pueden ser monederos, cinturones y bolsas de mano como se muestra en la Imagen 7.1
7. Implementar nuevas leyes para la fabricación de estos materiales.



Imagen7.1 Elaboración de artesanías con bolsas de plástico

BIBLIOGRAFIA

1. Martínez, Puc y Rodríguez., (2007), Desarrollo de un plástico biodegradable a partir de proteína aislada de soya, Tesis, UAM, México.
2. Hernández, G.H. (1998) Polímeros biodegradables a base de almidón, Tesis, UNAM, México.
3. Volke T.L. (1997), Efecto de tratamientos fisicoquímicos y cometabolismo en la degradación de polietileno de baja densidad por hongos filamentosos, Tesis, UAM, México
4. Vázquez, M. (2009), Obtención y caracterización de un material polimérico a partir de la mezcla de polietileno de baja densidad (PEBD) y almidón de maíz modificado, Tesis, universidad Veracruzana, México.
5. Un mal que dura 1000 años. El Universal, México Distrito Federal, 16 de Febrero de 2009.p. bl. Col. 2 En la sección de Sociedad
6. Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, (2009), publicada en la gaceta oficial del Distrito Federal el 19 de Agosto
7. ICyTDF. (2010), Trabajan en la Ciudad de México por Norma para bolsas de plástico, Órgano informativo del Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal 16 (3): 8
8. Enciclopedia del plástico (2000), Tomo1; Centro empresarial del plástico, pp 41-42, 55-58, 79-81, 88-92, 96,97, México, 1999.
9. Juárez, T. A., G.G,, Rodríguez "Eterificación del almidón" Universidad Autónoma de Coahuila, Verano de la Ciencia 2008.
10. McMurry,John, "Química Orgánica" 6ª edición, International Thomson,, SA de CV, 2006. Pp 1162, 1167
11. Wade, L.G, "Química Orgánica" 5ª edición., Pearson Prentice Hall, Madrid 2004, pp 1182-1183.

12. Levis W. J. and Barlaz A. M. (2011). "Is Biodegradability a Desirable Attribute for Discarded Solid Waste? Perspectives from a National Landfill Greenhouse Gas Inventory Model". *Environ. Sci. Technol.* 45, 5470-5476.
13. Albertsson A.C. y Ranby, B. (1979). Biodegradation of synthetic polymers IV: the C14 method applied to linear polyethylene containing a biodegradable additive. *Journal of applied polymer science*, 35: 423-430.
14. Huang;S.J. 1995. Polymer waste management: biodegradation, incineration and recycling. *Journal of Macromolecular Science-Pure and Applied Chemistry*. A32(4): 593-597.
15. Lee B; Pometto III, A.L; Fratzke. 1991. Biodegradation of degradable plastic polyethylene by *Phanerochaete* and *Streptomyces* species. *Applied and environmental Microbiology*, 57 (3): 678-685
16. American Society for Testing and Materials. 2004. Designation: D6459-04. Standard guide for: Exposing and Testing Plastics that Degrade in the Environment by a Combination of Oxidation and Biodegradation. Annual books of ASTM Standards. Vol.08.03, plastics (III). Easton, USA
17. Atlas, R.M. 1981. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: an environmental perspective. *Microbiological Reviews*, 45 (1): 180-209
18. Driver, W. E., "Química y tecnología de los plásticos", Compañía editorial Continental, México, 1982, pp 11-12.
19. Seymour, B.R., Carraher Jr. C. E., "Introducción a la química de los polímeros", Ed. Reverté, 1997, pp 122-124, 130-135.
20. Wang, Y. y Wang, L., Physicochemical properties of common and waxy corn starch oxidized by different levels of sodium hypochlorite, *Carbohydrate Polymers*, 52 (2003).

21. Cristán-Frías, A., I. Ize-Lema y A. Gavilán-García, "La situación de los envases de plástico en México" , en Gaceta Ecológica, 69, 2003.
22. Lenz, R.W. y R.H. Marchessault, "Bacterial polyesters: biosynthesis, biodegradable plastics and biotechnology" en Biomacomolecules, 6. 2005.
23. Song, C. et al., "the biodegradation of poly(3-hydroxybutyrate-co-3hydroxivalerato) (PHB/V) and (PHB/V) degrading microorganism in soil", en Poym. Adv technol., 14, 2003.
24. Orhan, Y., & Buyuknugor, H. (2000). Enhancement of biodegradability of disposable polyethylene in controlled biological soil. International Biodeterioration and Biodegradation. 45, 49-55.
25. Plastics and polymers, Doi, Y. & Fukuda, K (eds). Elsevier Science, London, 1997, pp. 345-350

Bibliografía electrónica

26. España, Fundación para la investigación y el desarrollo ambiental, <http://www.fida.es:8001/fida/VisNot?id=4d3936aa77926c1f53eca49f2a769e41> [acceso 7 de Julio de 2010, 10:23 am]
27. México, http://www.provecino.org.mx/pdfs/leyes/Ley_Residuos_Solidos_DF.pdf [acceso 26 de Julio de 2010, 16:20]
28. México, <http://www.slideshare.net/acercandonos/acercandonos-a-las-ciencias-dra-katiushka-arevalo> [acceso 26 de Julio de 2010, 18:20]
29. México, Asociación Nacional de la Industria Química, <http://www.aniq.org.mx/cipres/clasificacion.asp> [acceso 1 de Agosto 2010, 11:50]
30. Estados Unidos, American Section of the International Association for Testing Materials, <http://www.astm.org/Standard/index.shtml> [acceso 9 de Febrero de 2011, 18.30]

31. México, http://www.elestatal.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1875:las-bolsas-de-plastico-causan-mas-dano-que-beneficios&catid=3:la-frontera&Itemid=66 <http://ambientalesweb.com/bio/> [acceso 10 de Julio de 2010, 13:30]

ANEXO 1

Anexo1. Patentes enlistadas

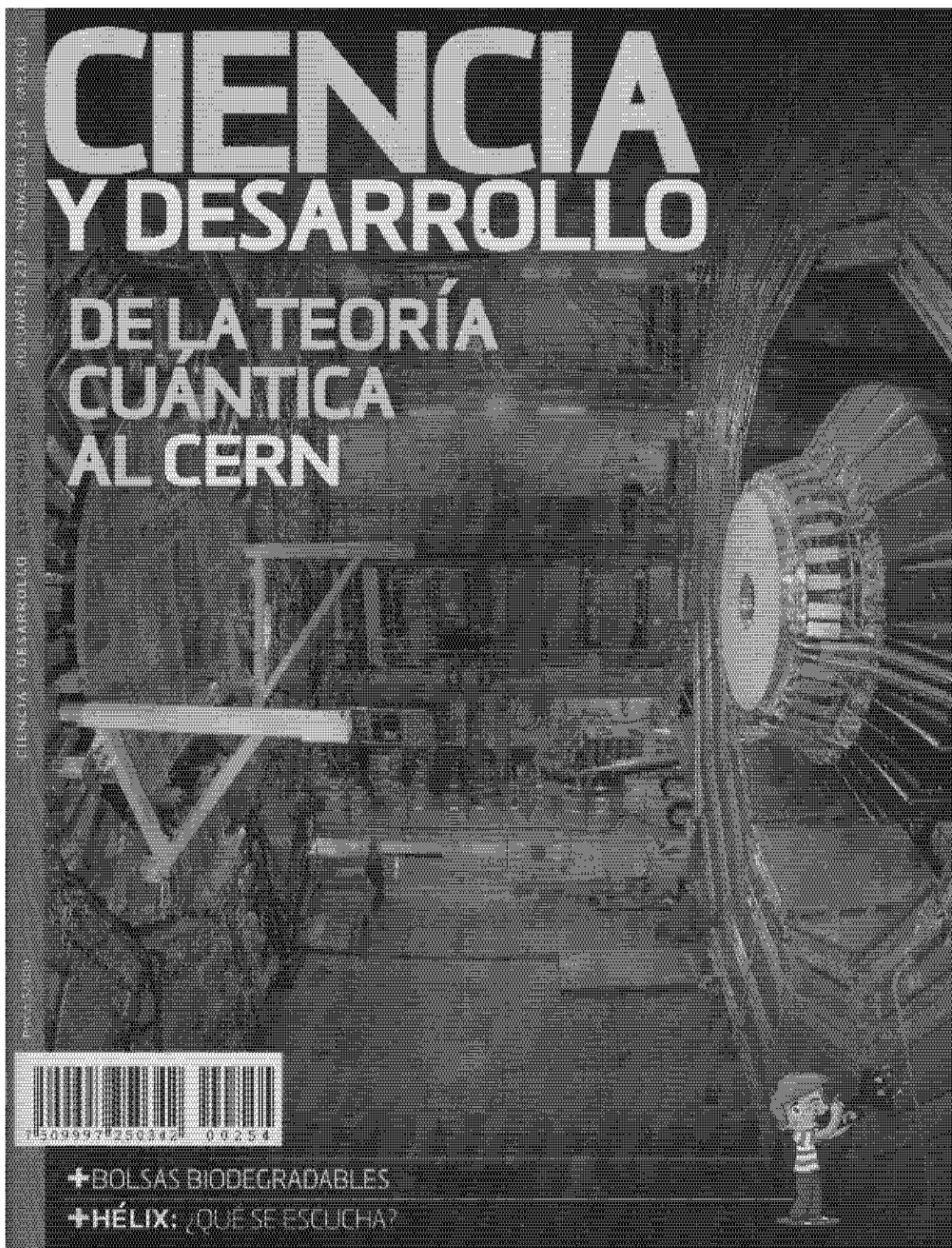
País	Año	Autor	Descripción
Estados Unidos	1996	Hird Bryan	Artículos biodegradables hechos de polímeros trans y sus mezclas con otros componentes biodegradables
Estados Unidos	1997	Brinton William	Proceso de fabricación de bolsas biodegradables
Estados Unidos	2003	Michael Dean	Bolsas biodegradables desechables para residuos de cemento
Estados Unidos	2004	Hirotsugu Mori	Bolsas biodegradables para el empaquetamiento de comida
Estados Unidos	2005	Shigenori Terada	Bolsas biodegradables
Estados Unidos	2006	Boris A. Miksic	Bolsas

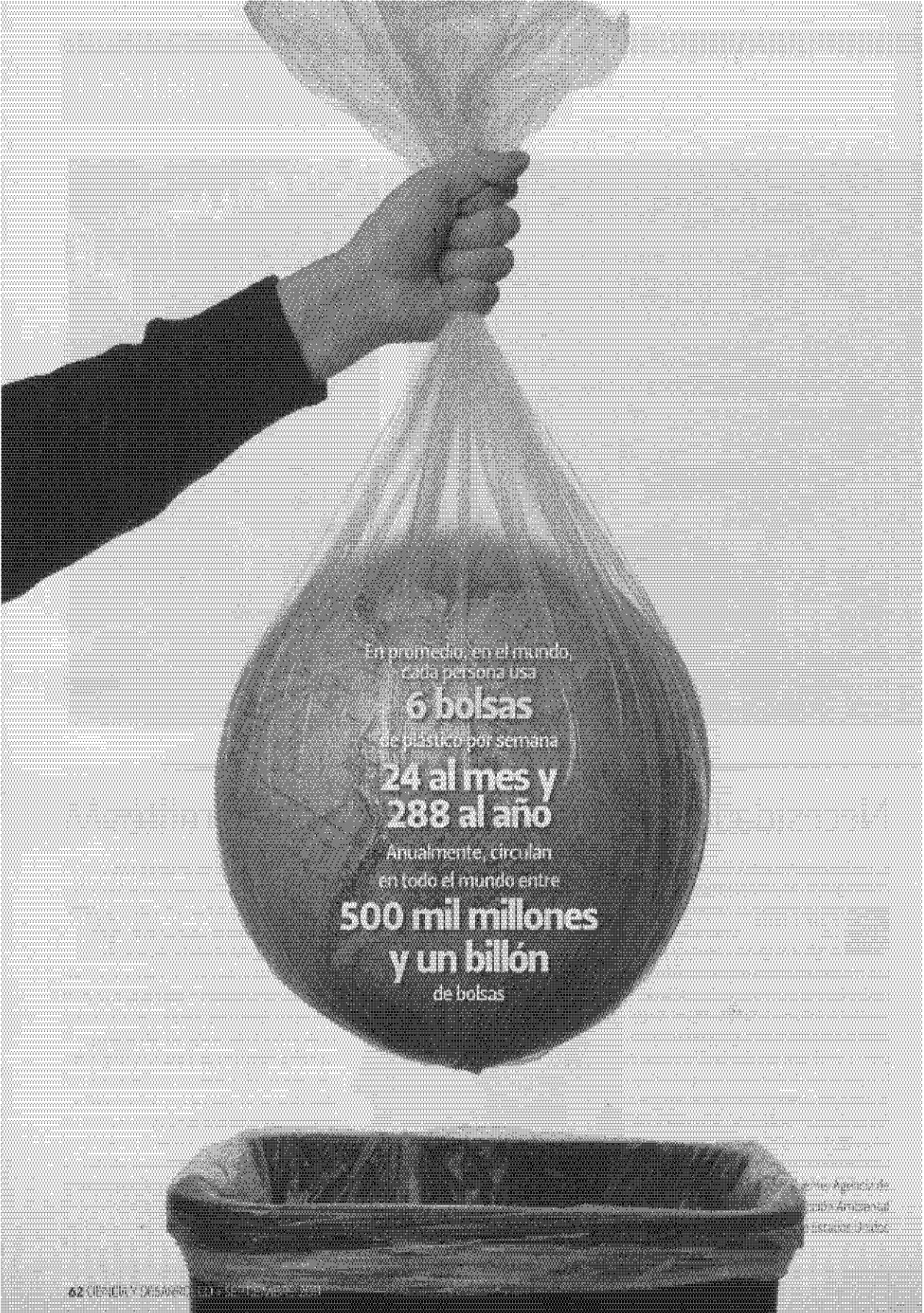
			biodegradables
Estados Unidos	2007	Milan H. Savich	Bolsas biodegradables con polímeros suberabsorbentes
Estados Unidos	2009	Prashant Purushottan Barve	Proceso de preparación de ácido L-(+)-Láctico

ANEXO 2

Artículo **Bolsas biodegradables ¿Cuánto hemos avanzado?**

De la revista Ciencia y Desarrollo





En promedio, en el mundo,
cada persona usa

6 bolsas

de plástico por semana

24 al mes y

288 al año

Anualmente, circulan
en todo el mundo entre

500 mil millones

y un billón

de bolsas

BOLSAS BIODEGRADABLES

¿CUÁNTO HEMOS AVANZADO?

MARÍA NEFTALÍ ROJAS VALENCIA Y ALEJANDRO HUITZIL SOLGRZANO

Las primeras bolsas de plástico fueron fabricadas en Estados Unidos, en 1937, con el objetivo de guardar y transportar alimentos. Para los años setenta, ya eran muy populares, especialmente, por su distribución gratuita en supermercados y otras tiendas, como forma de publicidad, pues permitían difundir el logotipo del establecimiento otorgado. Con el paso del tiempo se fueron convirtiendo en objetos de uso cotidiano, y hoy día se han vuelto prácticamente indispensables, llegando a ser una de las formas más comunes de almacenar basura doméstica.

De acuerdo con un reporte del Senado de la República, en México se manejan diariamente 30 millones de bolsas de plástico, en tanto que la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) informa que, al año, se generan alrededor de 135 millones de toneladas de residuos, de los cuales 107,513 toneladas corresponden a bolsas de plástico. Esta misma institución reportó que del total de bolsas elaboradas en el país, 28% se distribuye en 38 cadenas de supermercados. El resto, 72%, se comercializa en almacenes de ropa, de regalos y tiendas que operan las 24 horas, además de otros pequeños negocios dedicados específicamente a la venta de bolsas al mayoreo, cuyos principales clientes son los comerciantes de mercados, tianguis y tiendas de abarrotes; venta que produce ganancias por 6 mil millones de pesos anuales.

La Asociación Nacional de la Industria del Plástico (ANIPAC) señala que en la república mexicana hay 332 empresas involucradas en este sector, entre productores y proveedores de materias primas, así como encargados de la manufactura y distribución.

Después del primer uso, una de las problemáticas principales es saber qué hacer con las bolsas, ya que no es posible desaparecerlas tan repentinamente como han sido creadas. Su paradero final son las calles, los terrenos baldíos, los parques, barrancas, ríos, lagos, mares, hasta océanos, y su gran durabilidad representa una desventaja para el ambiente.

BOLSAS BIODEGRADABLES

En el Distrito Federal, la contaminación causada por bolsas de plástico es el principal problema en temporada de lluvias, porque se lizan de manera indiscriminada en las calles y zapatas, tuberías, cañerías y drenajes, lo que ocasiona severos encharcamientos e inundaciones.

Por otro lado, sabemos que algunas asociaciones internacionales, tales como Greenpeace, International Fund for Animal Welfare (IFAW) y la Agencia de Protección Ambiental de la Unión Americana, informan que una bolsa de plástico toma de 400 a mil años en degradarse, dependiendo de su tamaño y peso, por ello es muy probable que las primeras bolsas fabricadas en la década de los cincuenta, aún existan y se encuentren dispersas, contaminando el ambiente.

Este es el escenario y, con el fin de disminuir esta problemática, nuevos productos han sido creados, procurando satisfacer la necesidad de los usuarios y mejorar el ambiente. El objetivo de este documento es dar a conocer los avances logrados hasta ahora en la fabricación de bolsas biodegradables.

NORMATIVIDAD NACIONAL E INTERNACIONAL

En México, la Ley de Residuos Sólidos del D. F., publicada el 19 de agosto de 2009, menciona que los establecimientos de la Ciudad de México –centros comerciales y tiendas– no podrán entregar bolsas de plástico a sus clientes; no obstante, el Artículo 26 Bis 1, plantea una excepción: “Los establecimientos mercantiles, productores, prestadores de servicios y comerciantes podrán utilizar materiales de plástico únicamente en los casos que, por cuestiones de asepsia, conservación de alimentos o insumos no resulte factible el uso de tecnologías biodegradables como sustitutos”.

Actualmente, tanto en el Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal (ICyTDF) como en la Secretaría del Medio Ambiente (SMA) se trabaja en la implementación de una norma al respecto, para lo cual, partiendo de las reformas y adiciones a la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, fue necesario integrar un grupo de trabajo abocado a revisar y determinar las características que deberán cumplir las bolsas de plástico para ser consideradas biodegradables.

En el ámbito internacional, existen 14 normas aplicables a diferentes tipos de plásticos, definidas por la ASTM (Sociedad Americana para la Prueba de Materiales, por sus siglas en inglés). En particular, la fabricación de bolsas biodegradables se rige por la norma ASTM D-6954 y, particularmente, en la norma ASTM D-6400-04 se establecen los requisitos para que plásticos y productos plásticos puedan compostarse satisfactoriamente, incluyendo su biodegradación a una velocidad comparable con la de materiales compostables conocidos.¹

EVOLUCIÓN DE LAS BOLSAS BIODEGRADABLES

La materia prima más importante para la fabricación de plásticos es el petróleo, aunque es posible emplear otras materias primas, como madera y algodón, de donde se obtiene la celulosa para elaborar po-

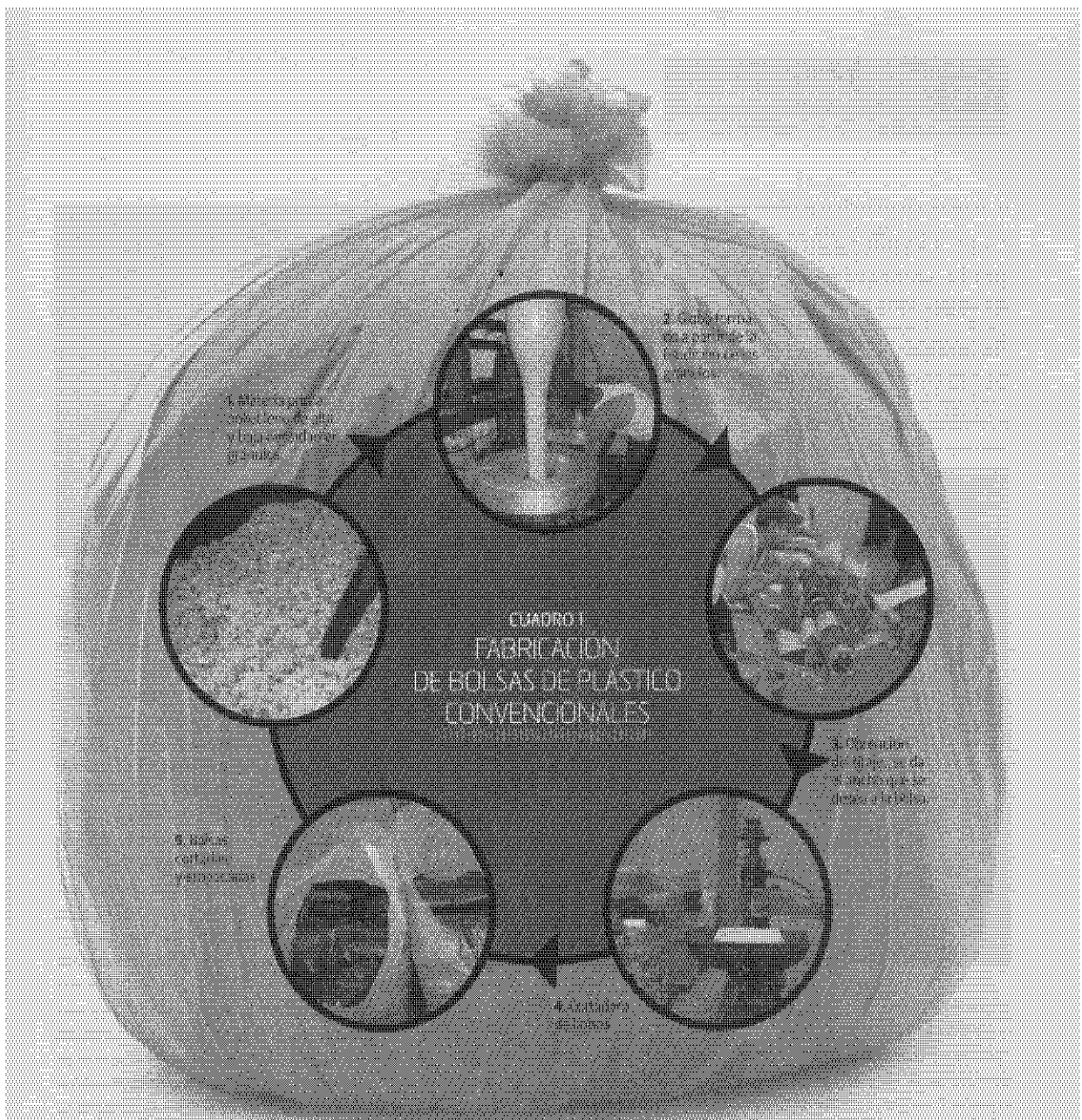
Lamentablemente, todos los materiales utilizados hasta ahora en la fabricación de bolsas pueden representar un peligro para el ambiente, el cual puede reducirse al reutilizarlas hasta que no sean útiles

CLASIFICACIÓN DE POLÍMEROS

- **Polímeros naturales**, extraídos de plantas como celulosa, proteína (soja, trigo) o almidón (proveniente del maíz, papa, papa, papa, papa), y animales (proveniente del hueso, piel, cuerno, queratina, colágeno, quitina o agar, también cana y trigo entre otros). En Italia se abrieron posibilidades para hacer bolsas biodegradables a partir de cáscaras y semillas de tomate.
- **Polímeros de proteínas**, como caseína, quitina o colágeno. La caseína se extrae principalmente de la leche; la queratina se extrae de la piel y el colágeno está presente en todos los animales en piel y hueso, y se extrae de los cartilagos bovinos y porcinos, así como del pescado y las aves.
- **Polímeros producidos por síntesis química clásica**, a partir de monómeros biológicos que pueden ser extraídos de fuentes renovables como el almidón, y de enzimas (modificadas, de diversas proteínas).
- **Polímeros naturales no biológicos ni químicamente modifi-**

cados, por ejemplo, acetato de celulosa, lignocelulosa, esteres, copolímeros (el copolímero se forma de dos o más monómeros).

- **Polímeros como los polihidroxicarbonato (PHB) y un polímero del tipo PHA**, los cuales se producen a partir la bacteria *Alcaligenes eutrophus* (disponible actualmente en el sitio www.puriphos.com). Las bacterias los producen a partir de sus alimentos orgánicos como carbohidratos, azúcares, almidón, y hidrocarburos, y se acumulan en grandes cantidades dentro de la célula bacteriana en forma de granulos. Llegando a constituir hasta 90% de la biomasa. El PHA se acumula de una manera análoga a la formación de los depósitos de las grasas de reserva en los animales. Los cultivos se cultivan, y desde las células de ellas, muchas reservas.
- **Polímeros producidos por bacterias productoras nativas o modificadas genéticamente**, como *Serratia maritima* y *Pseudomonas utrophus*; el proceso es similar al explicado en el punto anterior.



lmeros – término de origen griego, formado de las voces poly ‘muchos’ y meros ‘parte’, aunque, en el uso cotidiano, se utilizan los términos “plástico” y “polímero” como sinónimos.

El primer polímero sintético fue desarrollado en 1866, en Estados Unidos, por John Hyatt, quien lo llamó celuloide, el cual se fabricaba disolviendo celulosa (un hidrato de carbono obtenido de las plantas) en una solución de acetato y etanol. El celuloide puede ser ablandado repetidamente y moldeado de nuevo mediante calor, por lo que recibe el calificativo de termoplástico.⁴

En la pasada década de los treinta, químicos ingleses descubrieron que el gas etileno se polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, formando un termoplástico (plástico que se derrite al

calentarse y se endurece cuando se enfría) al que llamaron polietileno (PE). En 1939, en Gran Bretaña, se descubrió el primer polímero llamado polietileno de baja densidad (PEBD), el cual se obtiene a partir del etileno, sometiéndolo a altas temperaturas y presión, en presencia de un catalizador de radicales libres, y se diferencia del polietileno de alta densidad porque el PEBD es mucho más ramificado en su molécula. Hacia los cincuenta aparece el polipropileno (PP), otro polímero termoplástico como el PE, que tuvo una amplia variedad de aplicaciones, incluso empaques para alimento.

Actualmente se ha fabricado otro tipo de plásticos llamados biodegradables, entre los cuales se encuentran los polihidroxialcanoatos (PHA) y el ácido poliláctico (PLA). Los primeros, debido a su

BOLSAS BIODEGRADABLES

La problemática ambiental generada por la distribución incontrolada de bolsas de plástico es muy grande, pero aún es tiempo de hacer algo, comenzando por la toma de conciencia, tanto de los industriales como de los consumidores



origen de fuentes renovables (como bacterias, enzimas y hongos que producen ácido láctico) y por ser biodegradables, se denominan "polímeros doblemente verdes". El PLA, un polímero biodegradable derivado del ácido poliláctico, se genera de plantas como el maíz (que contiene gran cantidad de almidón) así, los microorganismos transforman el almidón en ácido láctico, el cual, a continuación es tratado químicamente para formar estructuras muy parecidas a las de origen petroquímico y dan como resultado el ácido poliláctico, también conocido como polímero biodegradable sintético, algo así como un plástico biodegradable artificial que puede ser soluble en agua. ASTM D-6400.^{4,4}

En otra investigación, mediante el uso de un disolvente, se llevó a cabo un proceso de esterificación directa⁵ obteniendo así un PLA de elevado peso molecular (patentado por Mitsui Toatsu), ópticamente activo,⁶ en el cual, por lo general, las bacterias que actúan tienden a producir únicamente el L-estereoisómero,⁸ mientras que métodos sintéticos producen, en su mayoría, una mezcla de ácido láctico. La mezcla de los estereoisómeros D y L es amorfa (plástico



» FIGURA 1. Reutilización creativa de bolsas de plástico

amorfo es aquel que no tiene un arreglo especial, pero puede ser muy transparente); L-láctido origina una estructura cristalina de PLA llamada PLLA (ácido poli-L-láctico).

Cargill-Dow desarrolló un proceso continuo para la producción de plásticos con base en ácido láctico, el cual comienza con reacciones internas entre moléculas del ácido láctico con abundante agua, para producir un preplástico de bajo peso molecular. Posteriormente, el preplástico se convierte en una mezcla de estereoisómeros del lactido, mediante un aumento de la reacción química, empleando el estano para permitir una reacción interna molecular de reacciones químicas y así, convertir una molécula orgánica en un anillo aromático más selectivo. La mezcla es purificada mediante una destilación en vacío en la cual se emplean temperaturas muy bajas, lo que ayuda a evitar el deterioro de los líquidos que se separan. Este sistema elimina el uso de disolventes y disminuye tanto contaminantes como costos.

Hoy día el término biodegradable (sinónimo de hidrobiodegradable) se aplica a aquellos materiales que pueden ser transformados en sustancias más sencillas para, después, poder ser disueltas en el agua. En el primer paso para la biodegradación, llamado oxodegradación, el aditivo, oxiza las cadenas de polietileno para lograr su degradación. En el segundo paso de la biodegradación, los restos de la bolsa son consumidos directamente por microorganismos, aunque esta acción, en ocasiones, genera agua y biomasa, así como

I. Se denomina esterificación al proceso por el cual se sintetiza un éster, que es un compuesto derivado de la reacción química entre un ácido carboxílico (R-COOR') y un alcohol (OH-R'').

II. Una sustancia ópticamente activa es aquella capaz de hacer girar el plano de vibración de la luz polarizada, cuando ésta la atraviesa hacia la izquierda o derecha.

III. Hablamos de un isómero que tiene la misma fórmula molecular y la misma secuencia de átomos enlazados, con los mismos enlaces entre los átomos.

En materia de bolsas biodegradables, es necesario conocer la tecnología que se está desarrollando para poder implementar nuevos productos cada vez más amigables con el ambiente

algunos gases de efecto invernadero –dióxido de carbono o metano–, y, no obstante, este último puede ser controlado y tratado para producir energía mediante procesos de digestión anaeróbica, en los rellenos sanitarios.

Hernández* y Martínez et al.³ señalan que los bioplásticos presentan propiedades físicoquímicas y termoplásticas iguales a las de los polímeros fabricados a partir del petróleo; la diferencia es que se biodegradan una vez depositados en condiciones favorables (humedad y temperatura, entre otras).

El primer producto en el mercado hecho de polietileno con un contenido de 7% de almidón consistió en bolsas para supermercado, de las cuales, en Europa (a principios de los noventa) se utilizaron 700 mil toneladas por año. En México sólo hay un par de empresas que las fabrican; sin embargo, el principal proveedor es extranjero.

ASM⁴ y Lewis y Barlaz⁵ han demostrado que este tipo de bolsas se fragmentan, pero no se degradan y quedan pequeños pedazos de plástico nocivos para la tierra, aves, animales marinos e insectos. El hecho de que un polímero sea soluble en agua es útil, pero el plástico, incluso, disuelto permanece en el agua, por lo que posteriormente se deposita en ríos y mares, por ello se ha mencionado que estos plásticos solamente se hacen invisibles, lo cual no garantiza que no ocasionen un impacto en el medio ambiente. Además, al adicionar almidón disminuye las propiedades mecánicas (ejemplo: dureza, elasticidad, tenacidad...), y la humedad ataca el almidón, cuya utilización –por cierto– en la degradación de bolsas atenta contra la cadena alimentaria (ASTM D-6400).⁶ No obstante, la fabricación de polímeros no se ha detenido (cuadro 1).

Una ventaja de los polímeros PHA es su rápida degradación en el ambiente, en comparación con los plásticos sintéticos; esto se debe a que muchos hongos y bacterias presentes en el ambiente (suelo, agua, aire) pueden utilizarlos como alimento.

Por otra parte, las bolsas llamadas oxodegradables u oxobiodegradables se descomponen usando aditivos químicos como los aditivos plásticos totalmente degradables llamados TDBA por sus siglas en inglés (Totally Degradable Plastic Additives). La primera degradación se inicia mediante luz ultravioleta, calor o tensión mecánica, al romperse las cadenas moleculares, pues, inmediatamente actúan los microorganismos. Se dice que este tipo es el más efectivo y no requiere almidón (ASTM D-5954).⁷

Se han desarrollado otros materiales llamados fotodegradables, los cuales se degradan por la acción de los rayos ultravioleta de la

radiación solar, de tal modo que pierden resistencia y se fragmentan en partículas diminutas; sin embargo, estos materiales no se fotodegradan si son enterrados en rellenos sanitarios (ASTM D-5071).⁸

Finalmente, otros materiales como las bolsas de papel, aunque son totalmente biodegradables, resultan altamente impactantes para el ambiente, debido a que su fabricación requiere celulosas y grandes volúmenes de agua, especialmente si se elaboran a partir de papel reciclado. Esto, lamentablemente, nos lleva a concluir que todos los materiales utilizados para la fabricación de bolsas, hasta ahora, pueden representar un peligro para el ambiente, aunque éste puede reducirse al reutilizar cualquier tipo de bolsas hasta que realmente ya no sean útiles (cuadro 2).

¿QUÉ HACER?

La problemática ambiental generada por la distribución incontrollada de bolsas de plástico es muy grande, pero aún es tiempo de hacer algo, comenzando por la toma de conciencia, tanto de los industriales como de los consumidores.

En materia de bolsas biodegradables, es necesario conocer la tecnología que se está desarrollando para poder implementar nuevos productos que sean cada vez más amigables con el ambiente.

Es impresionante tomar medidas para atenuar los efectos del desecho de estos productos, entre ellas, la aplicación estricta de los marcos legales que se han ido creando con los años, al tiempo que las investigaciones avanzan.

Ningún tipo de almidón, ya sea fécula de maíz, de papa o de trigo debe integrarse en la fabricación de bolsas, ya que no la hacen totalmente biodegradable.

Ta vez la mejor opción para disminuir la contaminación por bolsas de plástico es utilizarlas de forma racional y reutilizarlas al máximo. Además, en la mayoría de los casos se puede hacer algún tipo de artesanía con ellas: cinturones, monederos, gorros... como se muestra en la figura 1. ●

REFERENCIAS:

1. Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (2009), publicada en la *Gaceta Oficial del Distrito Federal* el 19 de agosto, p. 13.
2. CYTDF (2010). "Trabajos en la Ciudad de México por Norma para bolsas de plástico". Organismo Informativo del Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal, núm. 16, p. 8.
3. ASTM International Standards Worldwide <http://www.astm.org/> (16/ julio/2013).
4. Hernández, G. H (1996). Polímeros biodegradables a base de almidón, tesis UNAM, México, pp 7-140.
5. Martínez, C. E., Procella, y Rodríguez, R. S (2007). Desarrollo de un plástico biodegradable a partir de proteína aislada de soya. Tesis, UAM, México, pp 1-43.
6. Lewis W. J. and Barlaz A. M. (2011). "Is Biodegradability a Desirable Attribute for Discarded Solid Waste? Perspectives from a National Landfill Greenhouse Gas Inventory Model". *Environ. Sci. Technol.* 45: 5470-5476.