



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTILÁN

“PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DEL POLIETILENO DE ALTA  
DENSIDAD Y SU CONTRIBUCIÓN A LA REDUCCIÓN DEL IMPACTO  
AMBIENTAL MEDIANTE UN PRODUCTO SUSTENTABLE”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA:

MARISOL REYES GUZMÁN

ASESOR: I.Q. AARÓN BARRIOS CAMACHO

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2015



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.

## **AGRADECIMIENTOS**

Antes de dedicar unas líneas a las personas más importantes de mi existencia, quiero agradecer en primer lugar a Dios y a la vida por ser tan benevolentes conmigo y entre muchas otras cosas, el darme la oportunidad de concluir este trabajo de tesis y presentar mi examen profesional acompañada de las personas que más quiero, permitiéndome cerrar un ciclo muy importante de mi vida.

### **A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.**

Querida máxima casa de estudios, tuve la gran fortuna de ser parte de tu comunidad en la Escuela Nacional Preparatoria y el día de hoy logró terminar la licenciatura en tu Facultad de Estudios Superiores campus Cuautitlán, gracias por darme el conocimiento y las herramientas para enfrentar la vida.

Con mucho orgullo soy azul y oro!

### **A MI MADRE, MARISOL.**

Mamá, no imaginas la alegría que me da el poder compartir la culminación de esta etapa junto a ti, nunca terminaré de agradecerte todo lo que hiciste y sigues haciendo por mí, gracias por tu gran amor, el apoyo incondicional que siempre me has brindado y los sacrificios que hiciste para sacarme adelante, eres mi mayor ejemplo y la mujer más importante en mi vida.

A ti Mamá te dedico este trabajo, gracias por creer siempre en mí!

**A MI PADRE, ALFREDO†.**

Papá, por alguna razón, la vida no nos permitió disfrutar más tiempo juntos, sin duda, al día de hoy tu ausencia duele y tus consejos me hacen mucha falta, siempre vivirás en mi corazón y pensamientos.

Gracias por enseñarme que en esta vida todo esfuerzo vale la pena y que hay que luchar hasta el final, hasta donde estés, te dedico este triunfo, toda mi admiración y amor para ti.

Gracias Papá por cuidarme y ser mi ángel de la guarda!

**A MI HERMANO, CÉSAR.**

Hermano, nacimos del mismo árbol y aunque nuestras ramas crecen en distinta dirección, siempre nos unirán nuestras raíces.

Gracias por tu apoyo y cariño!

**A MI FUTURO ESPOSO, GUILLERMO.**

Guillermo, me siento muy afortunada de que nuestros caminos se hayan cruzado y tener a mi lado a un excelente compañero y padre para mi hijo, hemos recorrido la primera parte de nuestras vidas juntos, con muchas más alegrías que tristezas, el apoyo y la confianza que nos brindamos han sido y seguirá siendo la clave para lograr nuestras metas, agradezco tu amor y la hermosa familia que hemos construido.

Gracias por compartir tu vida con la mía!

### **A MI HIJO, DIEGO ANDRÉ.**

Hijo mío, aún eres muy pequeño para comprender algunas cosas, pero quiero que sepas que tú has sido pieza fundamental para concluir, no sólo este trabajo sino que mi licenciatura completa, eres el regalo más hermoso y especial que la vida me ha dado, la mayor bendición que tengo es verte crecer y que seas un niño feliz.

Con mucho amor para ti, que eres el motor de mi vida!

### **A LA SEÑORA APOLONIA.**

Señora Apolonia, siempre estaré muy agradecida por todo el apoyo que me ha brindado y más aún, por cuidar y querer a mi hijo como si fuera suyo.

Usted se ganó todo nuestro cariño y para mí, es un miembro más la mi familia!

### **A MI FAMILIA GUZMÁN ALANIS.**

Esta dedicatoria es para mis abuel@s, mis ti@s y mis prim@s, soy muy afortunada al tener una familia tan unida y cariñosa como la nuestra, gracias a cada uno de ustedes por su cariño y su apoyo.

De manera especial agradezco a mi abuelita Rosalba (el pilar de esta familia), a mi madrina consentida Norma Angélica y a mis tías Orquídea y Anís, porque desde mi niñez sólo tengo recuerdos de cariño y apoyo en todo momento hacia mí, todo mi respeto y admiración para ustedes, las quiero mucho.

**A MIS MEJORES AMIGAS: KAREN, LESLY, MAIRA, PAMELA, SAMANTHA Y YELITZA.**

No tuve una hermana de sangre, pero, qué más puedo pedir si las tengo a ustedes y en los buenos y peores momentos siempre me han dado su cariño y amistad sincera.

Vamos por muchos años más, las quiero mucho!

**A MI AMIGO, ÁNGEL RUEDA.**

Amigo, solamente tú sabes el camino que recorrí para concluir este proyecto, muchas gracias por todo tu apoyo y cariño, te quiero mucho.

**A MI ASESOR, AARÓN BARRIOS.**

Ingeniero, aún recuerdo aquel día en el que conocí la planta y escuche tu invitación a desarrollar este proyecto y quiero que sepas que me siento muy satisfecha por todo lo que aprendí, fue una experiencia muy enriquecedora en mi vida.

Gracias por tus conocimientos, tiempo, paciencia y por supuesto, tu amistad.

**A MI JURADO: Q. CELESTINO, DR. ABIGAIL, M. LUIS MANUEL Y DR. JULIO CÉSAR**

Gracias por haber leído este trabajo y enriquecerlo con sus conocimientos.

**AL DOCTOR JOSÉ LUIS VELÁZQUEZ Y MI EQUIPO DE TRABAJO.**

Doctor José Luis, siempre estaré muy agradecida por la gran oportunidad que me dio al trabajar a su lado, gracias a usted y a mi equipo de trabajo por su paciencia y apoyo durante en este proceso.

## ÍNDICE

Objetivos.....	1
Introducción.....	2

### CAPÍTULO I

#### LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR RESIDUOS.

I.I Factores que han contribuido al aumento de la contaminación por residuos.....	4
I.II Los residuos en México.....	13
I.III La composición de residuos en México.....	19
I.IV La contaminación por residuos plásticos.....	21
I.V Las consecuencias al medio ambiente por la generación de residuos.....	23

### CAPÍTULO II

#### LOS POLÍMEROS Y EL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.

II.I Antecedentes de los polímeros.....	25
II.II Los materiales poliméricos.....	26
II.III Los plásticos.....	28
II.IV El polietileno.....	30
II.V El polietileno de alta densidad.....	33

## **CAPÍTULO III**

### **EL RECICLAJE DE LOS PLÁSTICOS.**

III.I Definición y objetivos del reciclaje.....	36
III.II Tipos de reciclaje.....	37
III.III Identificación de las resinas plásticas.....	39
III.IV El proceso de reciclaje de los plásticos.....	42
III.V Las ventajas de la industria del reciclaje.....	44
III.VI México y el reciclaje hasta el año 2011.....	46

## **CAPÍTULO IV**

### **LA PLASTIMADERA® Y SU CONTRIBUCIÓN A LA REDUCCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.**

IV.I La plastimadera® .....	48
IV.II Procesos de transformación para plásticos.....	49
IV.III Descripción del proceso de extrusión.....	50
• Materia prima.....	50
• Formulación del producto.....	52
• Proceso de extrusión.....	55
IV.IV Equipo de una línea de extrusión.....	56



IV.V Características y ventajas de la plastimadera®.....	64
<b><u>RECOMENDACIONES</u></b> .....	69
<b><u>CONCLUSIONES</u></b> .....	71
<b><u>BIBLIOGRAFÍA</u></b> .....	72

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general.**

- Analizar la información actual referente al polietileno de alta densidad (HDPE), su proceso de reciclamiento y de transformación vía extrusión continua para la generación de una madera plástica la cual contribuye a reducir el impacto ambiental por residuos plásticos en México.

### **Objetivos particulares.**

- Desarrollar una fuente informativa que apoye el acervo bibliográfico del reciclaje de envases plásticos de polietileno de alta densidad y su transformación mediante un proceso industrial actual.
- Justificar la disminución de residuos plásticos del polietileno de alta densidad mediante el proceso de reciclaje.
- Explicar el proceso de transformación de un producto mexicano sustentable que reduce el impacto ambiental por residuos plásticos.

## INTRODUCCIÓN

Todos los días utilizamos productos sin tener idea de las consecuencias que pueden ocasionar al medio ambiente o a la salud, tal es el caso, de los plásticos.

Los plásticos son materiales formados por largas cadenas de átomos de carbono e hidrógeno, en un principio se elaboraban con resinas naturales pero hoy en día se basan en combustibles fósiles (recursos no renovables).

Tienen aproximadamente un siglo en el mercado, en la actualidad es uno de los materiales con mayor demanda en el mundo ya que se utilizan para embalaje, conservar, envasar, distribuir alimentos, medicamentos, bebidas, agua, artículos de limpieza, de tocador, cosmetología y un gran número de otros productos que pueden llegar a la población en forma segura, higiénica y práctica. Por otra parte, los envases plásticos son capaces de adoptar diferentes formas como bolsas, botellas, películas finas, tuberías, entre otros, su creciente uso también se debe a que son aislantes térmicos y eléctricos, resisten la corrosión y otros factores químicos, son livianos, resultan de fácil manipulación y optimizan costos.

A pesar de su indiscutible utilidad en la vida cotidiana, una vez que los plásticos se han utilizado se convierten en residuos sólidos urbanos (RSU) generados en grandes volúmenes, el **Instituto Nacional de Ecología** confirma que nuestro país enfrenta importantes problemas de contaminación del agua, aire y suelo, que impactan directamente al ambiente y a la salud debido a que los residuos reciben escaso o nulo tratamiento adecuado.

A nivel mundial, se calcula que 25 millones de toneladas de plásticos se acumulan en el ambiente cada año y que estos permanecen inalterables por un periodo de entre 100 y 500 años ya que son materiales no biodegradables, por lo tanto significa que no pueden ser descompuestos o desintegrados por organismos vivos como bacterias, hongos, gusanos e insectos ya que no cuentan con las enzimas o los medios para transformar el

plástico en otro tipo de material que pueda ser reintegrado a los ciclos de la naturaleza, los plásticos pasan por un proceso muy lento llamado fotodegradación, en el cual se reducen o fragmentan a partículas cada vez más pequeñas, liberando sustancias nocivas para la salud y el medio ambiente, por lo que en realidad nunca deja de existir ese plástico diminuto, acumulándose en el ambiente.

Debido a la necesidad de seguir utilizando plásticos, pero por otro lado, reducir los graves impactos al ambiente y daños en la salud de las personas por dicha contaminación, el reciclaje es una alternativa para contribuir a la solución de este conflicto ya que actualmente la gestión de los residuos se ha centrado principalmente en eliminarlos a través de tiraderos, rellenos sanitarios e incineradores, escondiendo el problema sin resolverlo.

El reciclaje se define como la transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos.

Finalmente, reduciendo el uso de materia prima para la elaboración de productos plásticos, no sólo se disminuirán considerablemente los niveles de contaminación ambiental, también lo hará el consumo de petróleo, recurso no renovable que tantas guerras y muertes provoca año tras año en nuestro planeta.

## **CAPÍTULO I**

### **LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR RESIDUOS.**

Como punto previo al desarrollo de este capítulo conviene citar que el **Diccionario de la real academia española** define residuo como; “parte o porción que queda de un todo, aquello que resulta de la descomposición o destrucción de algo o material que queda como inservible después de haber realizado un trabajo u operación” por otra parte en México la “**Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos**” (LGPGIR) define residuo como “aquel material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso y que se contienen en recipientes o depósitos; pueden ser susceptibles de ser valorizados o requieren sujetarse a tratamiento o disposición final”.

#### **I.I FACTORES QUE HAN CONTRIBUIDO AL AUMENTO DE LA CONTAMINACIÓN POR RESIDUOS.**

No hace muchos años, los problemas ambientales relacionados con la generación y contaminación por residuos no eran tan graves como en la actualidad, debido a que las condiciones de vida obligaban a prolongar al máximo la utilidad de los productos así como a su aprovechamiento para otros fines, sin embargo, el desarrollo industrial producido en la segunda mitad del siglo XX cambió la situación, fomentando la compra de objetos que en muchas ocasiones no eran necesarios, imponiéndose la cultura de usar y tirar.

Este cambio en la forma de vida de la población altero el equilibrio de la naturaleza activando la degradación del medio ambiente, debido, entre otros factores, a la gran cantidad de residuos generados.

Los factores más representativos que han contribuido al incremento en la generación de residuos son los siguientes:

**1. Crecimiento de la población mundial.**

La población mundial en los últimos 50 años, prácticamente se ha duplicado, originando un aumento exponencial en la producción de residuos.

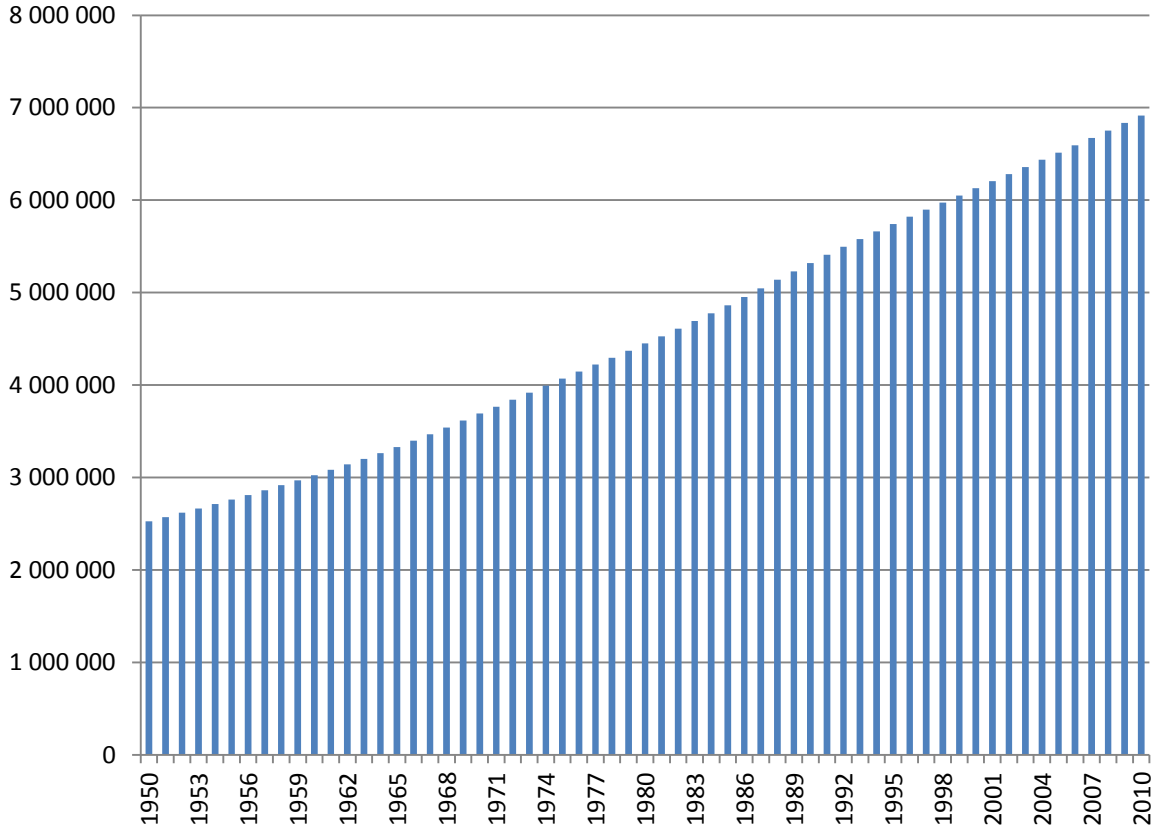


Imagen 1.1 Crecimiento de la población mundial (en miles) entre 1950 y 2010.  
Fuente: ONU 2013.

Este aumento en la población nacional se puede observar de manera anual en la siguiente imagen gracias a estadísticas nacionales proporcionadas por el INEGI:

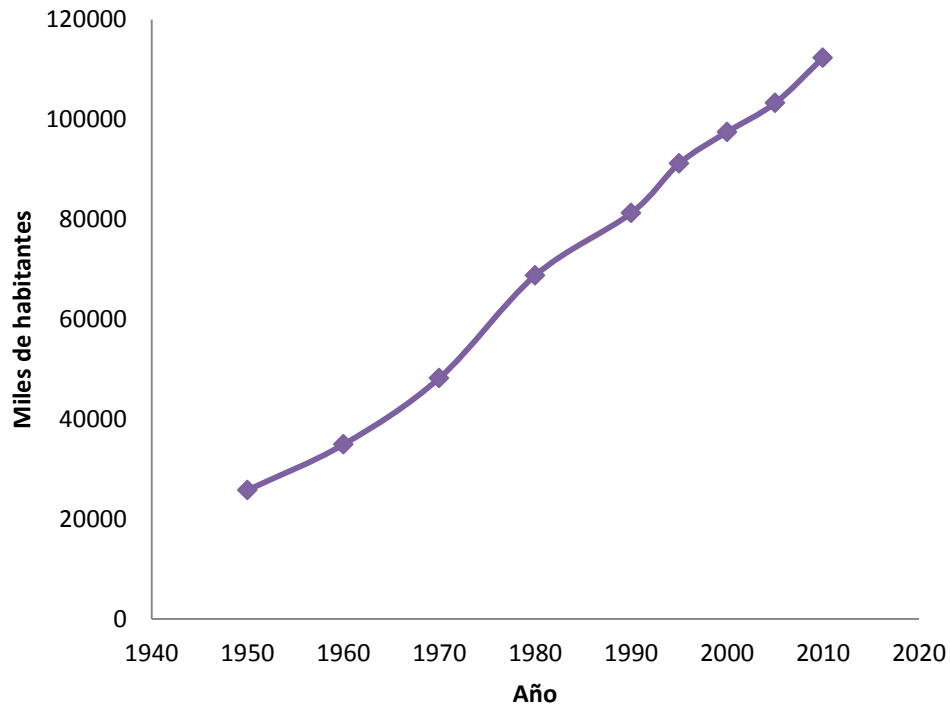


Imagen 1.2 Crecimiento de la población mexicana entre 1950 y 2010.  
Fuente: INEGI (Censos de población y vivienda 1950-2010).

## **2. Concentración de la población en núcleos urbanos.**

La acumulación numerosa de personas en espacios reducidos lleva consigo un aumento en la generación de residuos en áreas limitadas geográficamente, creando un ambiente urbano con nuevos problemas.

En Asia oriental entre 2000 y 2010 casi 200 millones de personas se trasladaron a las áreas urbanas de dicho lugar, cifra que equivaldría a la del sexto país individual más poblado del

mundo, según datos del Banco Mundial, lo que concluye la relación directa que existe entre urbanización y aumento de residuos.



Imagen 1.3 Concentración de la población Asiática.

Fuente: Banco Mundial, 2015.

En México también se puede observar la elevada concentración de población que radica en el Estado de México y Distrito Federal gracias al último censo del INEGI, realizado en el año 2010, ya que las dos entidades mencionadas anteriormente sumaron un total de 24,026,924 de habitantes lo que es equivalente aproximadamente al 21.5% de la población total del país, mientras tanto, el estado de la República Mexicana con mayor extensión territorial , Chihuahua, representa únicamente el 3% de la población total del país con 3,406,465 habitantes.





Imagen 1.4 Población total mexicana en 2010.  
Fuente: INEGI (Censo de Población y Vivienda 2010),



Imagen 1.5 Población total en el Estado de México y Distrito Federal en 2010.  
Fuente: INEGI (Censo de Población y Vivienda 2010).



Imagen 1.6 Población total en el estado de Chihuahua en 2010.

Fuente: INEGI (Censo de Población y Vivienda 2010)

Para ejemplificar la concentración de población en núcleos urbanos, el municipio de Nezahualcóyotl en el Estado de México, alberga en promedio 17,537 personas por cada kilómetro cuadrado de superficie, es el municipio más densamente poblado del país.



Imagen 1.7 Concentración de la población en el municipio de Nezahualcóyotl.

Fuente: National Geographic en Español, "Ciudad Neza" México, Septiembre 2011.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) resumió información importante del año 2013, como lo muestra la siguiente imagen:



Imagen 1.8 Población mundial total y países con mayor cantidad de habitantes.

Fuente: INEGI 2013.

### **3. Uso de envases para muchos productos.**

Un envase es aquel producto fabricado con materiales de cualquier naturaleza que se utiliza para contener, proteger, manipular o distribuir un producto.

La utilización cada vez más generalizada de los envases ha producido un aumento importante de residuos.



Imagen 1.9 Envases de plástico, metal y cartón para diferentes productos.

### **4. Temprana obsolescencia para muchos artículos.**

El hecho de que gran cantidad de artículos de uso normal (electrodomésticos, muebles, automóviles, etc.) queden obsoletos en pocos años de uso, produce una gran cantidad de materiales de desecho.

Tomando como ejemplo los electrodomésticos, a continuación se analiza y se presentan estadísticas en cuanto a su situación en México.

Según el diagnóstico básico para la gestión integral de residuos, publicado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) en 2012, se estima que en México entre 2009 y 2012, se generaron entre 21,348 y 21,937 toneladas de desechos de electrodomésticos.

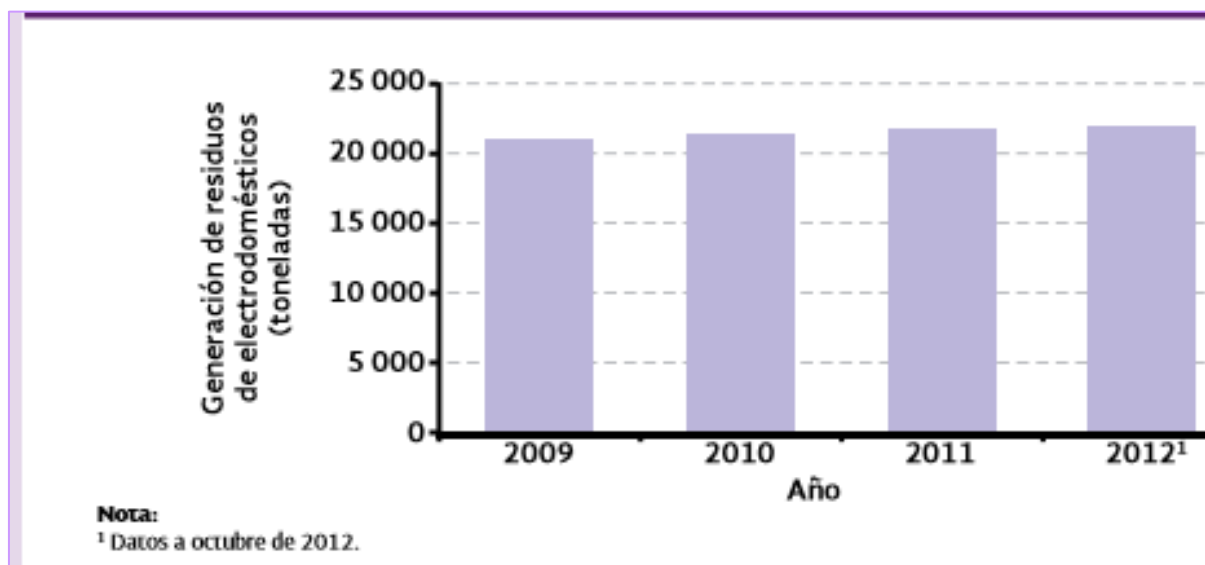


Imagen 1.10 Generación de residuos de aparatos electrodomésticos en México, 2009-2012.  
Fuente: INECC, SEMARNAT. Diagnóstico para la Gestión Integral de Residuos, México 2013.

Sin duda los aparatos electrodomésticos son elementos indispensables en la vida cotidiana, destacan por su importancia los refrigeradores, estufas, lavadoras, hornos de microondas, entre muchos otros., pero para su fabricación se emplean, además de grandes cantidades de plásticos, diversos metales como el plomo o aluminio, que pueden resultar peligrosos para la salud humana y los ecosistemas en caso de ser desechados de manera inadecuada al ambiente.

## **I.II LOS RESIDUOS EN MÉXICO.**

La intensificación de la actividad industrial que se presentó en México durante la segunda mitad del siglo pasado, produjo por una parte, una mayor demanda de materias primas para satisfacer el creciente consumo de bienes y servicios de una población en aumento y con patrones de consumo cambiantes y cada vez más demandantes y por otro lado un considerable aumento en la generación de residuos ocasionando daños irreversibles a los diferentes ecosistemas del planeta.

Para conocer la situación nacional sobre la generación de residuos, a continuación se muestran imágenes sobre:

- La generación de residuos por región.
- La generación per cápita de residuos por región.
- La generación per cápita anual de residuos en México.
- La generación de residuos por entidad federativa.
- La generación de residuos per cápita en países de la OCDE.

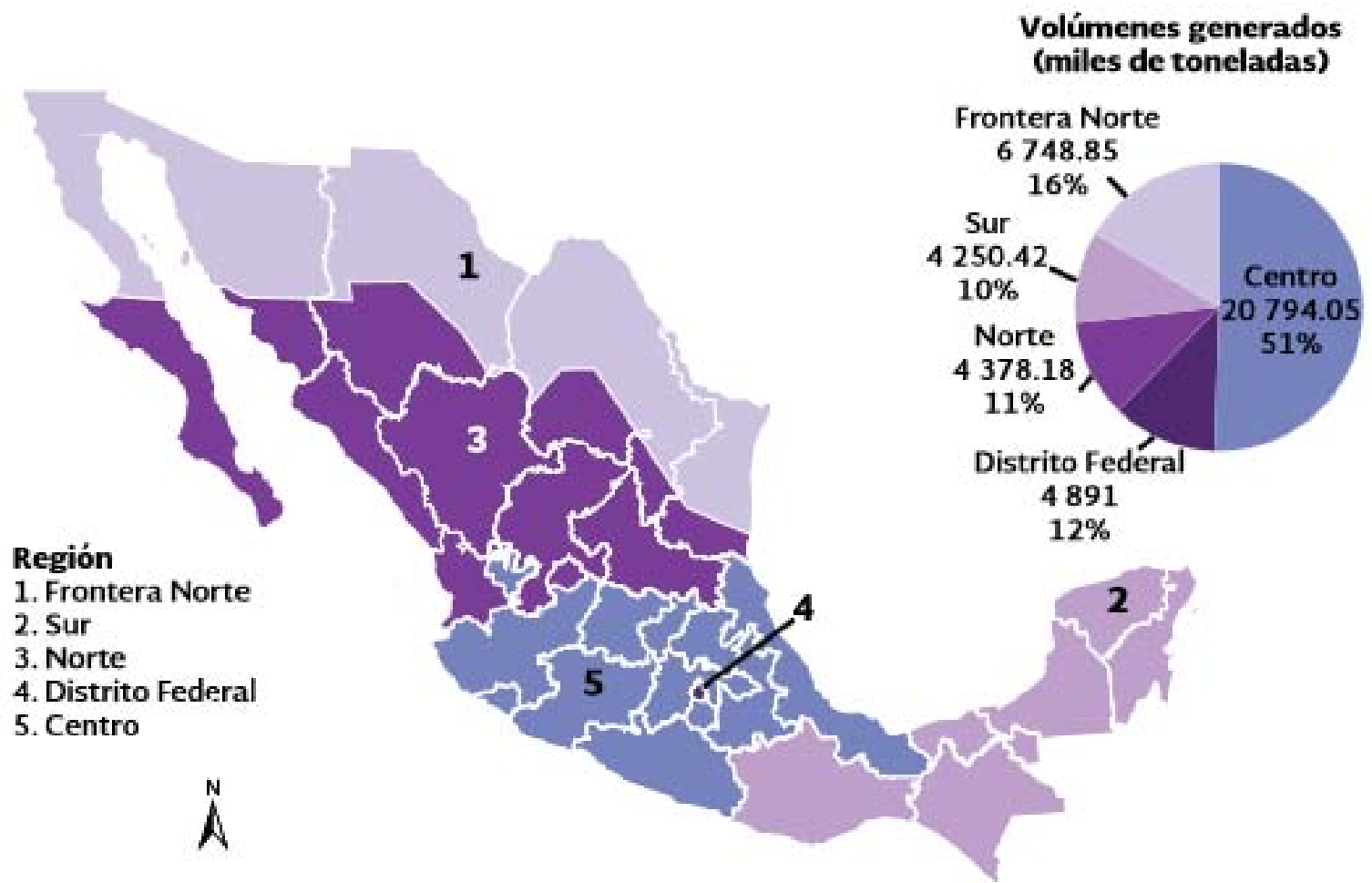


Imagen 1.11 Generación de residuos por región, 2011.  
 Fuente: Dirección General del Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México 2012.

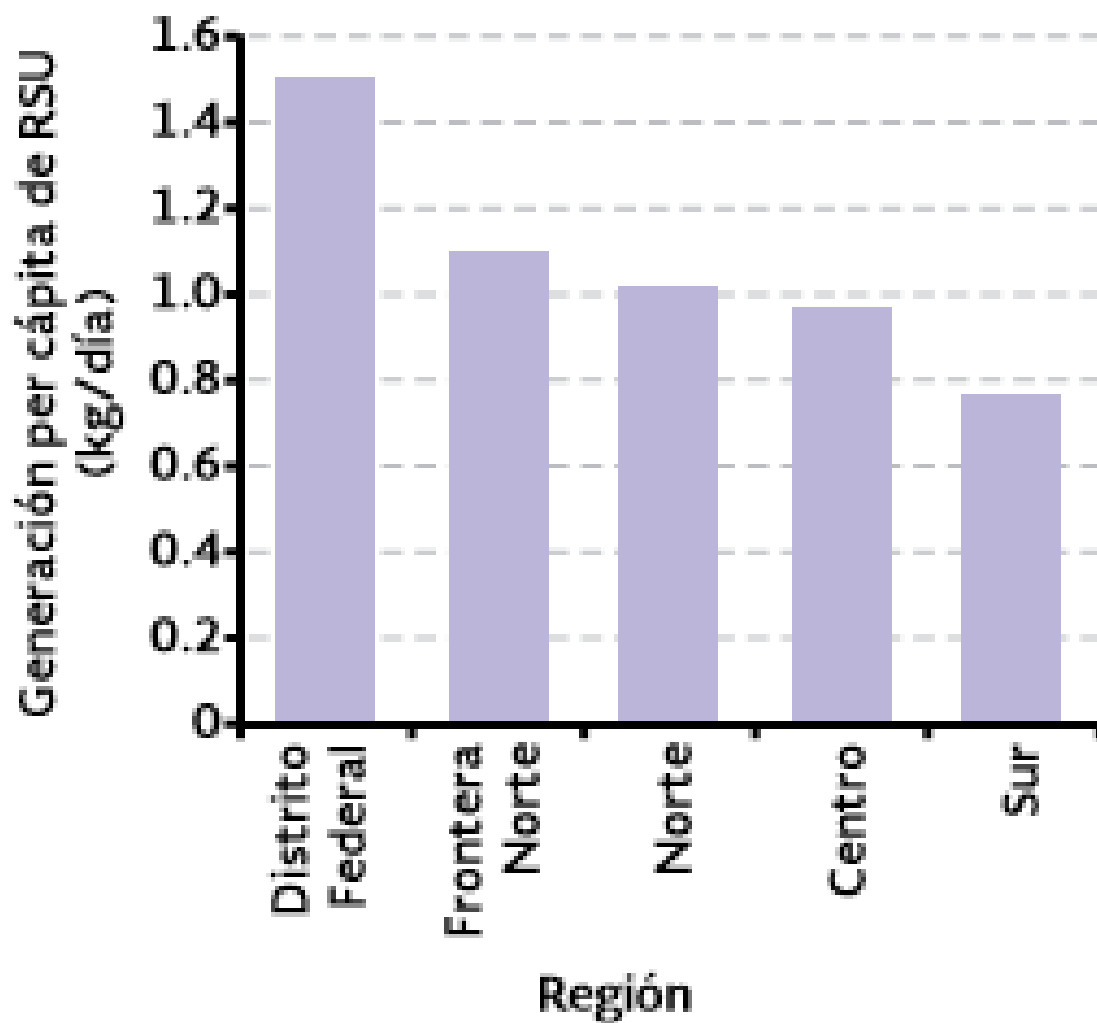


Imagen 1.12 Generación per cápita de residuos sólidos urbanos por región, 2011.  
 Fuente: Dirección General del Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol.  
 México 2012.



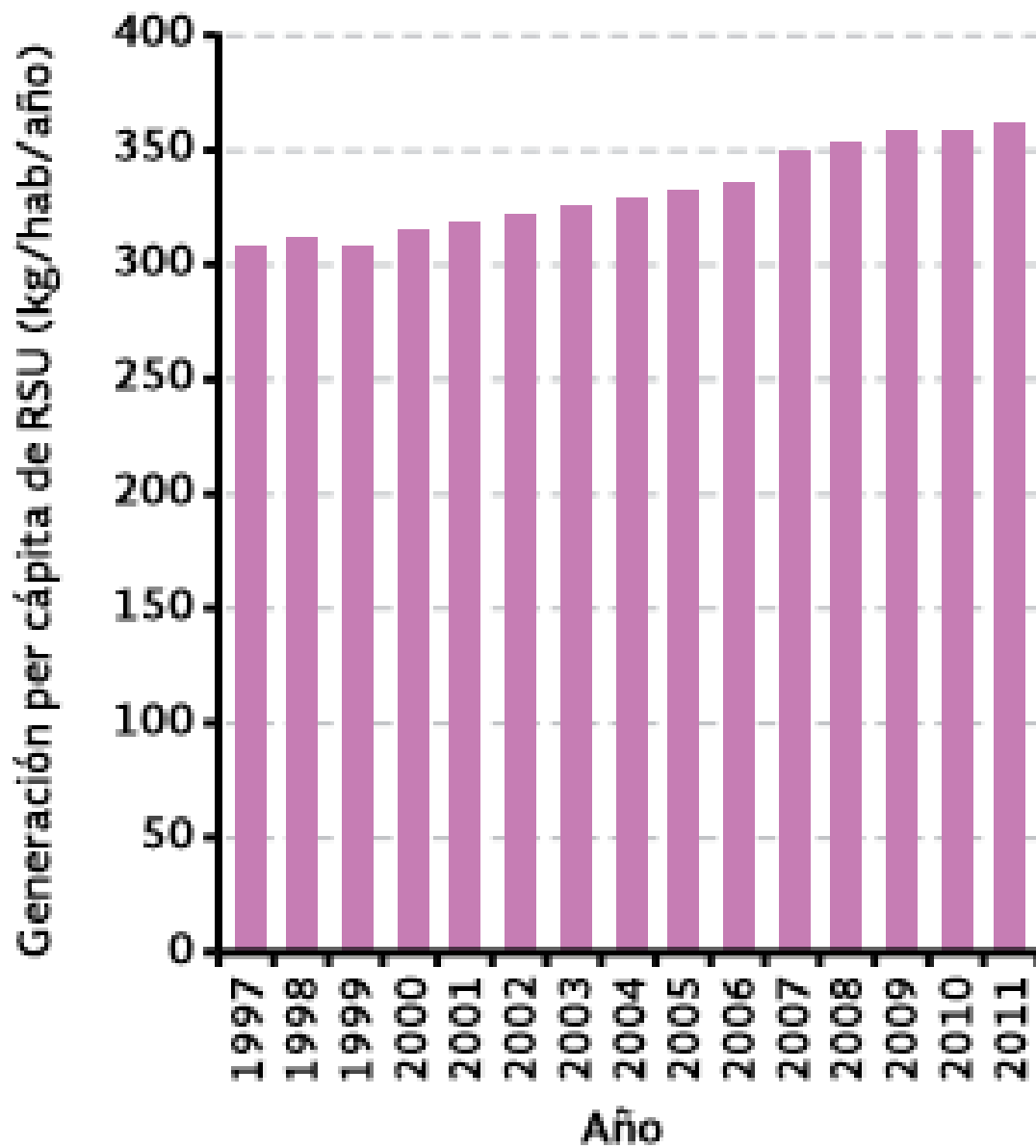


Imagen 1.13 Generación per cápita anual de residuos sólidos urbanos en México, 1997-2011.  
 Fuente: Dirección General del Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol.  
 México 2012.

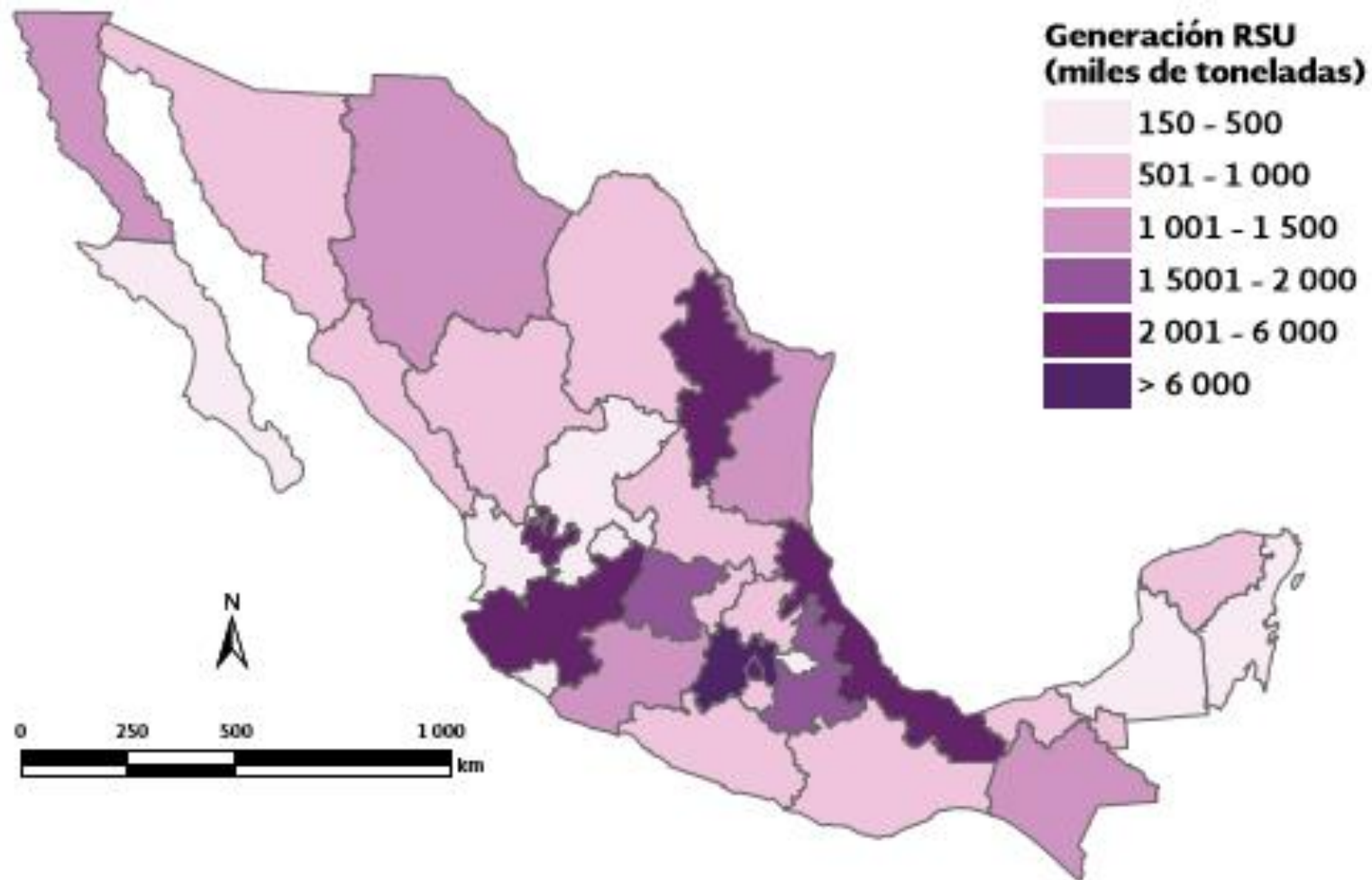


Imagen 1.14 Generación de residuos sólidos urbanos por entidad federativa, 2011.  
 Fuente: Dirección General del Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México 2012.

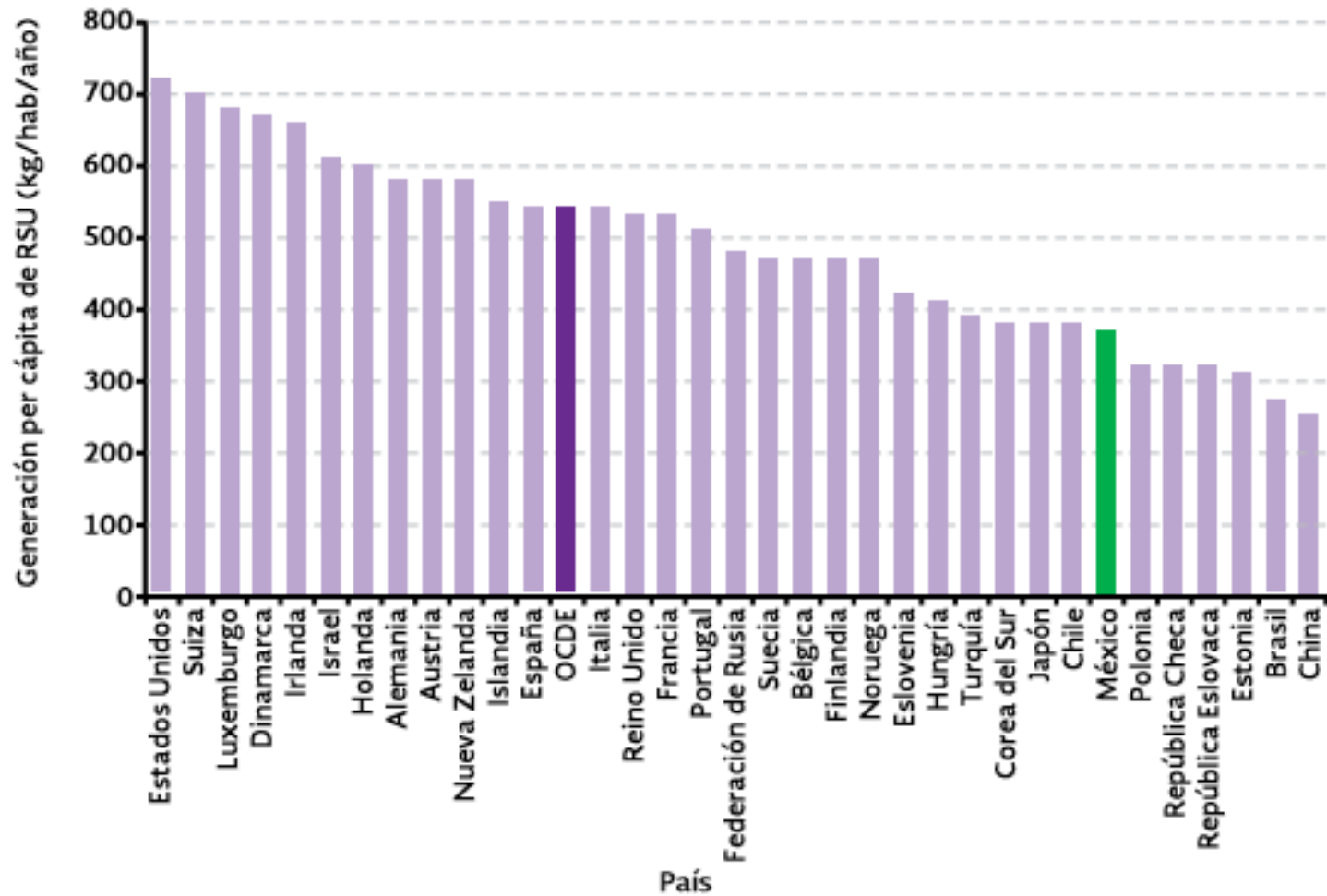


Imagen 1.15 Generación de residuos sólidos urbanos per cápita en países de la OCDE, 2010.  
Fuente: OCDE, 2013.

### **I.III LA COMPOSICIÓN DE RESIDUOS EN MÉXICO.**

El término composición se utiliza para describir los componentes individuales que constituyen el flujo de residuos y su distribución relativa (generalmente en porcentajes en peso). Los residuos engloban distintos productos o materiales de diferente naturaleza (orgánicos e inorgánicos), que deben conocerse adecuadamente para poder ser gestionados de forma correcta.

Los componentes más habituales presentes en los residuos urbanos son los siguientes: restos de comida, papel y cartón, plásticos, vidrio, metales, tetrabricks, pilas y baterías.

En cuanto a su composición, los residuos también han cambiado de manera importante en las últimas décadas en el país. En general, la composición depende, entre otros factores, de los patrones de consumo de la población: países con menores ingresos producen menos residuos, dentro de los cuáles dominan los de composición orgánica, mientras que los países con mayores ingresos, los residuos son mayormente inorgánicos a partir de productos manufacturados y con un porcentaje mayor de productos y desechos.

La cantidad de residuos producidos en un núcleo urbano es muy variable, ya que depende de un gran número de factores económicos, sociales y culturales.

En la siguiente tabla se recogen los datos de composición de los residuos urbanos en los países desarrollados y los que están en vías de desarrollo, en la que se puede observar que la composición varía considerablemente.

COMPONENTES	PAÍSES	PAÍSES EN VÍAS
	DESARROLLADOS	DE DESARROLLO
<b>Materia Orgánica</b>	40-55%	58-80.2%
<b>Papel</b>	14-32%	2.6-5%
<b>Plásticos</b>	10-16%	3.8-7.4%
<b>Vidrio</b>	6.5-16.7%	1-3.8%
<b>Cartón</b>	5-10%	1-4.8%
<b>Metales</b>	3.6-8%	0.7-1,6%
<b>Textiles</b>	3.25-6.5%	2-4.10%
<b>Tierras y cenizas</b>	0.2-5%	6-16%
<b>Gomas y cuero</b>	0.3-1.2%	0.2-1.4%
<b>Madera</b>	0.2-1.2%	0.1-1%

Imagen 1.16 Composición de los residuos urbanos en países desarrollados y países en vías de desarrollo.

De la comparación de los valores indicados, se puede afirmar que a medida que asciende el nivel de vida de la población, desciende el porcentaje de materia orgánica procedente de la alimentación, aumentando el de productos elaborados como papel, plástico, metales y vidrio.

El caso de México ilustra la transformación entre ambos tipos de economías: en la década de los 50, el porcentaje de residuos orgánicos en la basura oscilaba entre el 65 y 70% de su volumen, mientras que para 2011 esta cifra se redujo al 52.4%.



Imagen 1.17 Composición de los residuos sólidos en México, 2011.

Fuente: Dirección General del Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México 2012.

#### **I.IV LA CONTAMINACIÓN POR RESIDUOS PLÁSTICOS.**

En la época actual resulta difícil imaginar alguno de los sectores de nuestra vida diaria, prescindiendo de los plásticos, sólo basta con observar a nuestro alrededor y analizar cuántos objetos son de plástico para visualizar la importancia económica que tienen estos materiales.

Los plásticos encontrados en los residuos urbanos proceden fundamentalmente del envasado de productos alimenticios y bebidas así como de productos de limpieza. Aunque los plásticos se vienen utilizando desde hace más de 100 años, su presencia en los

residuos urbanos ha aumentado en gran medida, ya que su uso se ha incrementado considerablemente durante los últimos 20 años. La razón fundamental es que los plásticos han sustituido, en gran parte, a los metales y al vidrio como materiales para recipientes y al papel como material de embalaje. A pesar de que los materiales plásticos constituyen un bajo porcentaje del peso de los residuos urbanos, el porcentaje en base al volumen supone una cifra mayor. El incremento del uso de los plásticos se debe a que presentan diversas ventajas: son ligeros y por lo tanto reducen los costos de transporte, son duraderos, pueden presentarse en diversas formas y pueden ser fabricados para que sean flexibles o rígidos además son buenos aislantes.

Lo mencionado anteriormente se refleja en la siguiente imagen, en la cual podemos observar el aumento de los plásticos en millones de toneladas de 1992 hasta 2012.

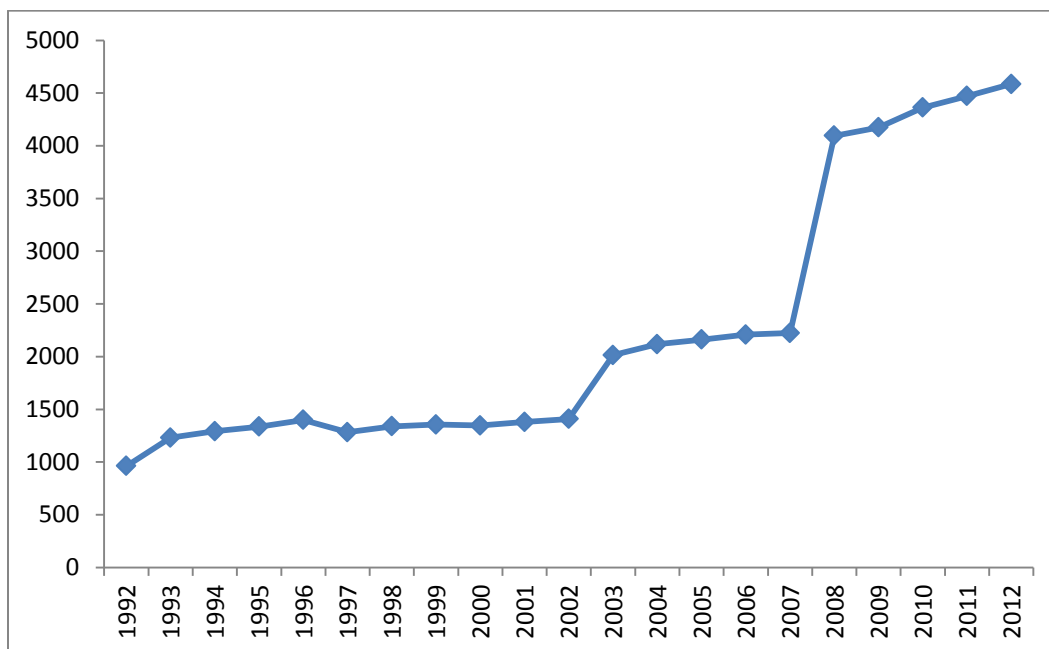


Imagen 1.18 Aumento de los plásticos en México hasta 2012.  
Fuente: SEMARNAT.

De igual forma los plásticos encontrados en los residuos sólidos urbanos de los Estados Unidos ha crecido sorprendentemente desde 0.4 millones de toneladas anuales en 1960 hasta 18 millones en 1993, alcanzando las 29 millones de toneladas en 2005. Los plásticos en la actualidad representan casi el 12% del peso total de residuos sólidos urbanos generados, pero dado a que son tan voluminosos, representan un cuarto del volumen total en los vertederos.

#### **I.V LAS CONSECUENCIAS AL MEDIO AMBIENTE POR LA GENERACIÓN DE RESIDUOS.**

Las consecuencias ambientales de la generación y la inadecuada disposición de los residuos son negativas para la salud de las personas y de los ecosistemas naturales, entre las que destacan las siguientes:

- Contaminación de los suelos y mantos acuíferos.

La descomposición de los residuos y su contacto con el agua puede generar lixiviados (es decir, líquidos que se forman por reacción, arrastre o filtrado de los materiales) que contienen, en forma disuelta o en suspensión, sustancias que se infiltran en los suelos o escurren fuera de los sitios del depósito. Los lixiviados pueden contaminar los suelos y los cuerpos de agua, provocando su deterioro y representando un riesgo para la salud humana y de los demás organismos.

- Generación de contaminantes y gases de efecto invernadero.



La descomposición de los residuos orgánicos produce biogases que resultan desagradables no sólo por los olores que generan, sino que pueden ser peligrosos debido a su toxicidad o por su explosividad. Algunos de ellos son también gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático global, entre estos gases destacan el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O), clorofluorcarbonos (CFC).

- Proliferación de fauna nociva y transmisión de enfermedades.

Los residuos orgánicos que se disponen atraen a un numeroso grupo de especies de insectos, aves y mamíferos que pueden transformarse en vectores de enfermedades peligrosas como la peste bubónica, salmonelosis, cólera, amebiasis, dengue, fiebre amarilla, etc.

Otras consecuencias son:

- Impacto visual de los vertederos en el paisaje.
- Riesgos provocados por deslizamientos o derrumbes por residuos sólidos
- Extensión de terrenos contaminados.
- Disminución de recursos naturales utilizables.

## CAPÍTULO II

### LOS POLÍMEROS Y EL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.

#### II.I ANTECEDENTES DE LOS POLÍMEROS.

La palabra polímero se deriva del griego poli y meros, que significan mucho y partes, respectivamente, los primeros seres humanos aprendieron a procesar, teñir y tejer las fibras proteínicas naturales, como la lana, la seda, y las fibras de hidratos de carbono, como el lino y el algodón.

Las primeras civilizaciones americanas utilizaban el caucho para fabricar artículos elásticos o impermeabilizar tejidos, siempre hubo abundancia de fibras naturales y de elastómeros, pero no de materiales plásticos hasta que aparecieron los primeros científicos dedicados a los polímeros realizando descubrimientos empíricos antes de que esta ciencia se desarrollase, por ejemplo, Charles y Nelson Goodyear transformaron el caucho de la hevea, un material reblandecible al calor, en un caucho vulcanizado menos sensible al calor de mayor utilidad, esto lo lograron calentándolo con cantidades variadas de azufre para generar una gran cantidad de enlaces cruzados entre las cadenas de poliisopropeno y Baekeland utilizó cantidades controladas de fenol y formaldehído generando el primer plástico verdaderamente sintético conocido como “baquelita” entre otros.

En aquel entonces no se sabía lo que era un polímero y no había una idea clara de los complicados cambios que se estaban produciendo en la obtención de los primeros cauchos, plásticos y fibras utilizables.

Antes de la Primera Guerra Mundial ya se encontraban a disposición del público plásticos, como el celuloide, la laca, la baquelita, el acetato de celulosa y el caucho de la hevea; fibras, como el algodón, la lana, la seda y el rayón; y resinas, como los recubrimientos de poliéster y el asfalto.

No obstante, entre la Primera Guerra Mundial y la Segunda Guerra Mundial continuó el desarrollo de conocimientos en la Ciencia de los Polímeros y en los años veinte, el premio Nobel Hermann Staudinger estableció las bases de la Ciencia de Polímeros moderna, cuando demostró que los polímeros naturales y sintéticos no eran agregados como los compuestos cíclicos de ciclohexano, sino moléculas largas con grupos terminales característicos.

El desarrollo de la tecnología de los polímeros a partir de la década de los veinte ha sido muy rápido; en algunos casos, la técnica se ha adelantado a la teoría; no obstante, se ha desarrollado abundante teoría de tal forma que la Ciencia de los Polímeros es hoy día ya una ciencia aplicada y no una tecnología meramente empírica.

## **II.II LOS MATERIALES POLIMÉRICOS.**

Los materiales poliméricos despliegan propiedades que son únicas cuando se comparan con otros materiales, a los cuales han desplazado, ya que ofrecen ventajas importantes como menos peso, resistencia a la corrosión, facilidad para fabricar piezas con geometrías complejas y menor costo total de fabricación, entre otras.

Existen muchos polímeros naturales como los carbohidratos, las proteínas, la celulosa entre otros, pero el hombre ha sido capaz de crear una cantidad innumerable de materiales poliméricos sintéticos con diversas propiedades y características; por esa razón, los encontramos en casi cualquier producto.

Los polímeros son moléculas orgánicas en cadena con pesos moleculares tan elevados que pueden llegar a 1,000,000 g/mol y que consisten en diversas combinaciones y formulaciones de carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y otros elementos, dado que un polímero es un material formado por muchas partes denominadas monómeros.

Los **monómeros** son moléculas formadas por una combinación única de átomos; algunos ejemplos pueden ser los monómeros de etileno, estireno, propileno, mediante el proceso de **polimerización** se generan fuerzas de atracción muy fuertes que unen a los monómeros formando largas cadenas poliméricas, y el conjunto de una gran cantidad de estas cadenas da como resultado un material polimérico con propiedades únicas.

En su aplicación final, la mayoría de los polímeros se encuentran en estado sólido, pero en cierta etapa de su existencia se forman haciéndolos fluir mediante la aplicación de calor y/o presión.

En general los polímeros presentan una variedad muy amplia de propiedades físicas, mecánicas, químicas y térmicas; algunas de las más representativas son:

- Son conductores térmicos deficientes.
- Presentan una gama muy amplia de dureza y flexibilidad.

- Son buenos aislantes térmicos.
- Algunos tienen buena resistencia a la intemperie.
- Otros son capaces de impedir la propagación de la flama.

Los polímeros abarcan materiales tan diversos como los plásticos, las fibras, los elastómeros, los hules y los adhesivos, la diferencia viene determinada principalmente por las fuerzas intermoleculares o intramoleculares, así como por los grupos funcionales presentes.

### **II.III LOS PLÁSTICOS.**

La palabra plástico se deriva del griego "plastikos" que significa, capaz de ser moldeado, un plástico se puede definir como un material que contiene una sustancia orgánica de gran peso molecular como ingrediente esencial y en su estado final es un sólido.

Los plásticos son un grupo de materiales orgánicos que contienen como elemento principal el carbono, combinado con otros como el hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Son sólidos en su estado final, pero en alguna etapa de su manufactura son suaves para ser moldeado por medio de calor y/o presión.

La moderna industria de los plásticos surgió en Estados Unidos, en 1860, cuando se ofreció un premio de 10,000 dólares a quien hallara un material económico que sustituyera al marfil para hacer bolas de billar, el ganador fue John Wesley Hyatt, inventor, que hizo una bola con lo que él llamó celuloide.

Pronto se empezó a usar el celuloide para otros objetos: armazones de lentes, mangos de cuchillos, parabrisas de los primeros automóviles y películas fotográficas, por citar sólo algunos ejemplos. Sin él no habría sido realidad la industria cinematográfica.

Posteriormente los plásticos se comenzaron a utilizar mucho para remplazar otros materiales y hacer imitaciones de madera, metales, cerámica y vidrio.

La versatilidad de las propiedades de los plásticos ha permitido su aplicación en campos tan distintos como la medicina (sustituyendo partes corporales enfermas o dañadas, como articulaciones de cadera, dientes, válvulas cardíacas y vasos sanguíneos), la industrial textil, automotriz, de las comunicaciones y la ingeniería y desde luego en la vida cotidiana.

Sin embargo, la naturaleza de estos polímeros sintéticos plásticos es parecida a los alcanos, lo que los hace no reactivos, por ende, no se descomponen con facilidad (no son biodegradables). En consecuencia, un resultado de su baja reactividad es que con el paso del tiempo, se han convertido en factores que contribuyen de manera muy importante a la contaminación en tierra y océanos.

Dentro de los plásticos podemos encontrar la clasificación de termoplásticos y termofijos, un polímero termoplástico está formado por cadenas moleculares muy largas que se mantienen unidas entre sí por fuerzas relativamente débiles, del tipo de Van der Waals, cuando el polímero se calienta las fuerzas intermoleculares se debilitan, por lo que el polímero se vuelve suave y flexible y a altas temperaturas, se funde, un polímero termoplástico puede fundirse, moldearse y solidificarse en varias ocasiones; durante su proceso de moldeo, no sucede una reacción química, sino que sólo lleva consigo cambios

físicos, por lo que estos polímeros pueden reciclarse. Aproximadamente el 80% de los polímeros son termoplásticos, los cuales pueden volver a fundirse y remodelarse en forma de productos nuevos. El 20% restante son plásticos termoestables, los cuales se descomponen al calentarse, de modo que suponen una mayor dificultad para su reciclado.

#### **II.IV EL POLIETILENO.**

El polietileno tiene como monómero a la molécula de etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), la cual está constituida químicamente por un enlace covalente doble entre los átomos de carbono y por cuatro enlaces covalentes sencillos entre el carbono y los átomos de hidrógeno.

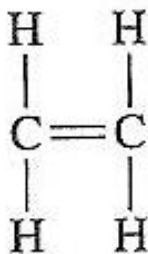


Imagen 2.1 Monómero de etileno.

Una molécula hidrógeno-carbono que tiene uno o más enlaces dobles carbono-carbono se dice que es una molécula insaturada. De este modo, el etileno es una molécula hidrógeno-carbono insaturada puesto que contiene un enlace doble carbono-carbono.

Para obtener la resina de polietileno, se hace reaccionar consigo mismo los monómeros de etileno además de incluirse un catalizador mediante una reacción de adición.

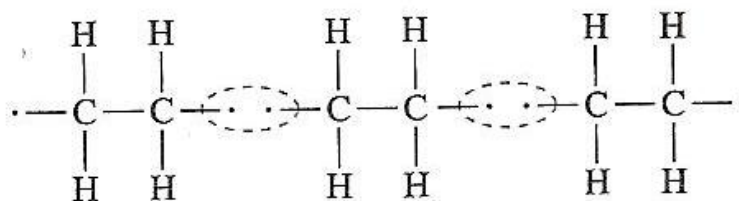


Imagen 2.2 Modelo tridimensional sólido de las unidades de repetición del etileno.

La repetición de unidades de monómero puede presentarse en forma lineal, ramificada o entrecruzada.

El proceso industrial para la obtención de este material, se lleva a cabo en reactores en los cuales ocurren las reacciones de polimerización correspondientes gracias a la materia prima (monómeros) y el catalizador.

Según el proceso y el monómero, se les da presión y/o temperatura, agitando la mezcla para favorecer la reacción, obteniéndose el polímero.

Se llama polimerización al proceso de obtención de plásticos y existen dos métodos generales para formar las moléculas grandes a partir de monómeros, los procesos de obtención son por adición y por condensación.

- Por adición:

Los monómeros se unen entre ellos sin que las moléculas pierdan átomos, la característica principal es que estas reacciones de adición producen longitudes específicas, otra característica es que los monómeros deben de poseer un enlace múltiple (doble o triple) en su estructura, también a esta reacción se le denomina reacción en cadena.



- Por condensación:

En la polimerización por condensación los monómeros afines se unen con la eliminación simultánea de átomos o grupos de átomos reaccionando entre sí, estas reacciones de condensación producen diferentes longitudes de sus polímeros.

La característica principal que posee dicha síntesis es que al final de la reacción, además de haberse formado el plástico, se obtienen productos como el agua, amoniaco o algún ácido.

El polietileno es un material termoplástico translucido (entre transparente y blanquecino), que a menudo se fabrica en películas delgadas. Las secciones gruesas son translúcidas y tienen apariencia cérea. Utilizando colorantes se obtienen una gran variedad de productos derivados.

Una molécula típica de polietileno se compone de hasta 2,500-25,000 moléculas de etileno unidas en una estructura continua. En Estados Unidos se producen al año más de 30 mil millones de libras de polietileno.

Dos formas de representar la estructura del polietileno:

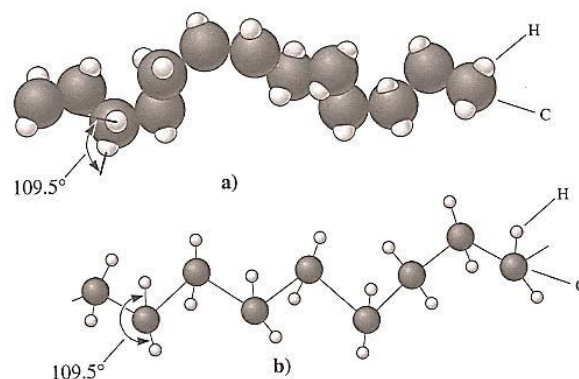


Imagen 2.3 Estructura del polietileno.

- a. Modelo tridimensional “espacial”.
- b. Modelo bidimensional simple.

#### **II.V- EL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.**

De manera general el polietileno se clasifica en polietileno de baja densidad (LDPE) el cual presenta una estructura de cadena ramificada y el polietileno de alta densidad (HDPE) tiene esencialmente una estructura de cadena lineal.

El polietileno de baja densidad fue comercializado en primer lugar en el Reino Unido en 1939 usando reactores autoclave que requerían presiones mayores de 100 MPa (14.500 psi) y temperaturas cercanas a los 300 °C.

El polietileno de alta densidad se comercializó por primera vez, siguiendo los procesos de Phillips y Ziegler en 1956-1957. En estos procesos la presión y la temperatura para la reacción de conversión de etileno a polietileno se había rebajado considerablemente. Por ejemplo, el proceso Phillips opera a una temperatura de 100 a 150 °C y a una presión entre 2 y 4 Mpa (290 a 580 psi).

Las estructuras en cadena ramificada de los polietilenos de alta y baja densidad se muestran en la siguiente imagen 2.4. El polietileno de baja densidad tiene una estructura de cadena ramificada que hace disminuir su grado de cristalinidad y su densidad. La estructura en cadena ramificada también hace disminuir la resistencia del polietileno de baja densidad porque reduce las fuerzas de enlace intermoleculares. El polietileno de alta densidad, al contrario, presenta ramificaciones muy pequeñas sobre las cadenas

principales y por ello las cadenas son capaces de agruparse más próximas, con lo que se incrementa la cristalinidad y resistencia.

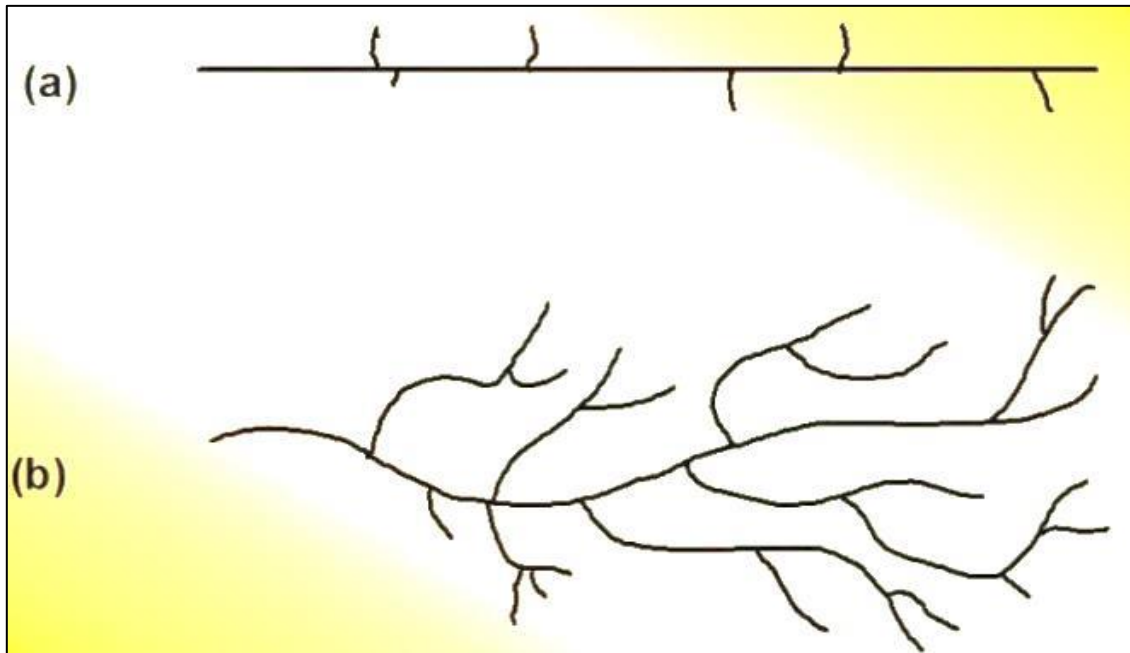


Imagen 2.4 a) Estructura lineal del polietileno de alta densidad y b) Estructura ramificada del polietileno de baja densidad.

El polietileno es, el material plástico más utilizado. Las razones principales por la que ocupa esta primera posición son su bajo costo y sus importantes propiedades de uso técnico, entre las que se incluye tenacidad a temperatura ambiente y a bajas temperaturas, con suficiente resistencia para aplicaciones de muchos productos, una buena flexibilidad dentro de un amplio rango de temperaturas, incluso por debajo de  $-73^{\circ}\text{C}$ , excelente resistencia a la corrosión y muy buenas propiedades aislantes y además es incoloro y con baja transmisión agua-vapor.

Entre las aplicaciones del polietileno de alta densidad incluimos su empleo en contenedores, como aislante eléctrico, en la fabricación de material químico (tubos y varillas), en la fabricación de artículos para el hogar y de botellas. También se usan películas de polietileno para empaquetamientos en general y recubrimiento de pozos, vertederos y embalses.

## **CAPÍTULO III**

### **EL RECICLAJE DE LOS PLÁSTICOS.**

#### **III.I DEFINICIÓN Y OBJETIVOS DEL RECICLAJE.**

El reciclaje de desechos sólidos se define como la práctica que consiste en separar o extraer determinados materiales tales como plástico, vidrio, metal, papel y cartón del flujo de desecho, acondicionarlos para su comercialización, usarlos como materias primas en sustitución de materiales vírgenes para manufacturar nuevos productos y utilizar dichos productos hasta que se vuelvan al flujo de desechos y puedan nuevamente ser reciclados.

El reciclaje permite extender de manera importante el espacio y la vida útil de los sitios de disposición final de residuos, preservar los recursos naturales como los minerales, petroleros, forestales así como el ahorro de agua y energía, aportando nuevos productos útiles para el consumidor y la generación de beneficios económicos.

Los objetivos del reciclaje son los siguientes:

- Conservación y ahorro de recursos naturales renovables y no renovables.
- Disminución del volumen de residuos.
- Protección del medio ambiente.

Aunque el reciclaje es, sin duda, una de las mejores opciones para el tratamiento de los residuos por las numerosas ventajas que ya se han comentado, en numerosas ocasiones, se da más importancia a los factores económicos que a los ambientales. Por ello, para

conseguir que un programa de reciclaje funcione con éxito, debe existir una fuerte demanda para los materiales recuperados y un valor en el mercado que sea suficiente como para cubrir los costos de energía y transporte.

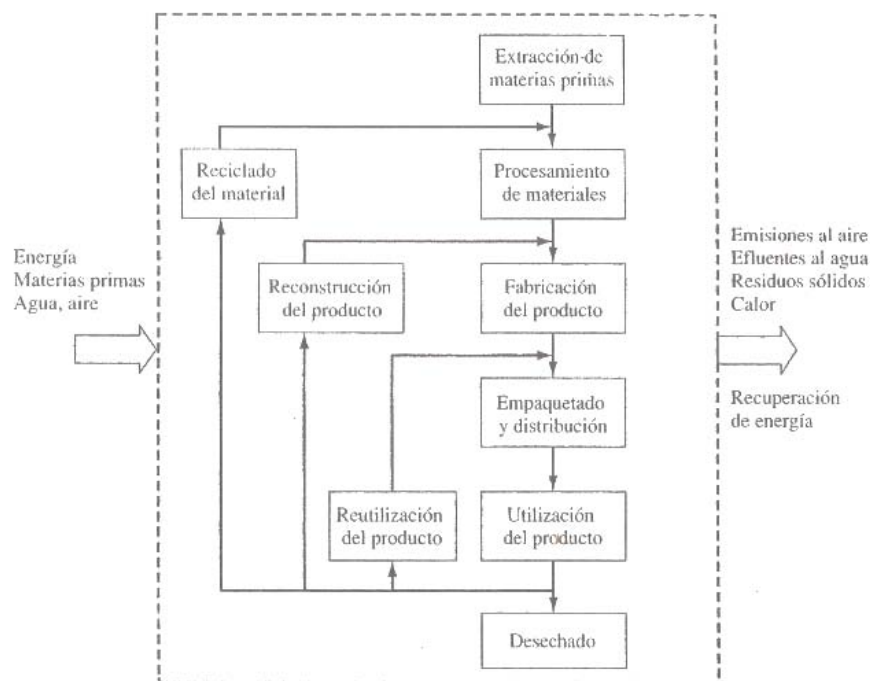


Imagen 3.1 Esquema de un proceso de reciclaje exitoso.

### **III.II TIPOS DE RECICLAJE.**

El reciclaje puede efectuarse de dos formas, la primera consiste en la separación de los componentes presentes en la basura, dando así origen a lo que se conoce como reciclaje selectivo.

Para la efectividad de este sistema se necesita, por un lado, la participación ciudadana, al tener que depositar en recipientes distintos los diferentes componentes de los residuos que intentan recuperarse, y por otro lado, la recogida de dichos componentes ha de

realizarse por separado, bien en vehículos distintos o en vehículos especiales con distintos compartimentos. La recogida selectiva no sólo fomenta el reciclaje y la valorización de los residuos sólidos urbanos, sino que también sirve para separar de los mismos los residuos peligrosos que puedan contener.



Imagen 3.2 Contenedores especiales para la separación de diferentes materiales.

La segunda forma es el reciclaje mecánico, parte de la basura bruta, o sea, efectuando un tratamiento global de los residuos sólidos urbanos mediante técnicas comunes utilizadas en la industria minera y metalúrgica, tales como la trituración, cribado y clasificación neumática para lo concerniente a la preparación del residuo y separación de las fracciones

ligeras; y sistemas de clasificación por vía húmeda, electromagnética, electrostáticos, ópticos y flotación por espumas para la obtención y depuración de metales y vidrio.

### III.III IDENTIFICACIÓN DE LAS RESINAS PLÁSTICAS.

Por su composición y su origen derivado del petróleo, los plásticos son residuos de alto valor, paradójicamente no han sido objeto de una separación y recolección adecuada, pues en México se calcula que del total de residuos plásticos que se generan sólo el doce por ciento se recupera para reciclaje.

Con el fin de que el reciclaje del material plástico sea efectivo, es necesario que se proceda a separar los diferentes componentes según su naturaleza química (tipo de resina y color).

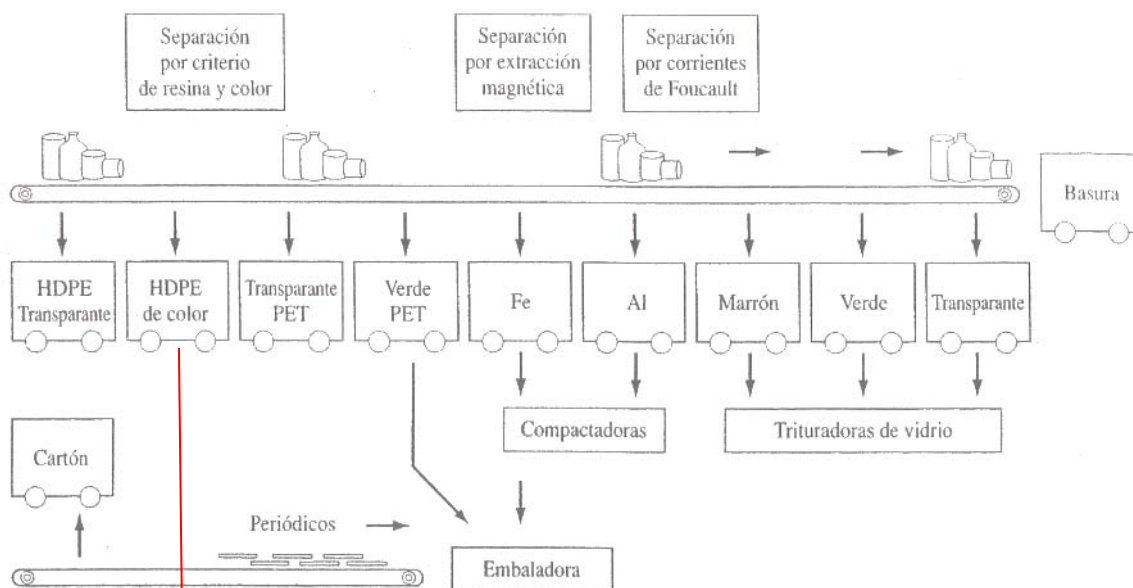


Imagen 3.3 Proceso de separación de para distintos materiales.





Por ello el Instituto de la Sociedad de la Industria Plástica ha desarrollado un sistema de símbolos en las botellas de plástico y otros envases rígidos, que utiliza un icono de tres flechas en triángulo, esta vez con una designación numérica que indica el tipo de resina utilizada en el plástico.

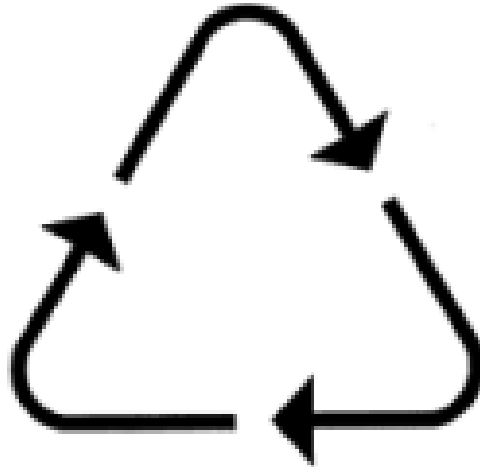


Imagen 3.4 Símbolo para el reciclaje en general.

Por lo tanto, el lector puede identificar el tipo de polímero usado para fabricar un artículo de plástico si observa el símbolo de reciclado que se encuentra en la etiqueta o en el fondo del recipiente.



PETE= tereftalato de polietileno



HDPE= polietileno de alta densidad



PVC= cloruro de polivinilo



LDPE= polietileno de baja densidad



PP= polipropileno



PS= poliestireno



OTRO= otras resinas

La abreviación común de cada resina está ubicada abajo de su símbolo, esto sirve como una verificación adicional del material clasificado.

Imagen 3.5 Símbolos de identificación siete resinas plásticas recicladas

Aunque el símbolo de las tres flechas tiende a interpretarse como producto reciclable, en el caso de los plásticos solo el tereftalato de polietileno (PET o PETE) y el polietileno de alta densidad (HDPE) son los realmente reciclables en grado significativo. De hecho así como las botellas de refrescos (PET) y las botellas de leche y agua (HDPE) conforman menos del 6% del total de los productos plásticos generados en los residuos sólidos urbanos, representan dos tercios del total de plásticos reciclados.

### **III.IV PROCESO DE RECICLAJE DE LOS PLÁSTICOS.**

Una vez separados los distintos materiales, lo que generalmente se hace es granular el plástico mediante un triturador, al mismo tiempo que se lavan los gránulos que se forman rociándolos con agua, seguidamente, se secan las partículas de plástico mediante una centrifugación. Posteriormente, el material plástico se somete a extrusión, es decir, se fuerza al plástico a pasar por una matriz para moldearlo.

El problema que existe cuando se tratan de reciclar al mismo tiempo plásticos de naturaleza química distinta, reside en el hecho de que aunque se fundan, no se entrelazan entre ellos a nivel molecular, obteniendo materiales muy deficientes cuyas propiedades no se pueden predecir, debido a que las diferentes resinas tienen puntos de fusión distintos, de manera que si un lote de plásticos mezclados se calienta y moldea en productos nuevos, algunas resinas podrían no fundirse en absoluto, y otras podrían quemarse, como ejemplo, una botella de PVC en un lote de 20,000 botellas de PET, puede arruinar el lote entero y dañar la maquinaria de fabricación. De forma similar, si el

polipropileno, el cual es difícil de distinguir del polietileno, contamina el lote de polietileno reciclado y la combinación final resultará inútil.

Después de un proceso de reciclado, las resinas plásticas tienen un nuevo destino como lo muestra el siguiente cuadro.





Termoplásticos			Aplicaciones	Usos después del reciclado
Polietileno tereftalato	PET		Botellas, envasado de productos alimenticios, moquetas, refuerzos neumáticos de coches.	Textiles para bolsas, lonas y velas náuticas, cuerdas, hilos
Polietileno alta densidad	PEAD		Botellas para productos alimenticios, detergentes, contenedores, juguetes, bolsas, embalajes y film, laminas y tuberías.	Bolsas industriales, botellas detergentes, contenedores, tubos
Polietileno de baja densidad	PEBD		Film adhesivo, Bolsas, revestimientos de cubos, recubrimiento contenedores flexibles, tuberías para riego,	Bolsas para residuos, e industriales, tubos, contenedores, film uso agrícola, vallado
Policloruro de vinilo	PVC		Marcos de ventanas, tuberías rígidas, revestimientos para suelos, botellas, cables aislantes, tarjetas de crédito, productos de uso sanitario.	Muebles de jardín, tuberías, vallas, contenedores
Polipropileno	PP		Envases para productos alimenticios, Cajas, tapones, piezas de automoviles, alfombras y componentes eléctricos.	Cajas múltiples para transporte de envases, sillas, textiles
Poliestireno	PS		Botellas, vasos de yogures, recubrimientos	Aislamiento térmico, cubos de basura, accesorios oficina

Imagen 3.6 Diferentes usos de los plásticos después del reciclaje.

### **III.V VENTAJAS DE LA INDUSTRIAL DEL RECICLAJE.**

También es importante mencionar que al no hacer uso de la industria del reciclaje, el consumo de materias primas y energía va en constante aumento, como ejemplos, se pueden citar los siguientes:

- Para conseguir 1 tonelada de pasta para la fabricación de papel, son necesarios 14 árboles y cada uno tarde en crecer 20 años.
- Con la recuperación de 2 toneladas de plásticos se ahorra 1 tonelada de crudo importado para su síntesis.
- Para la producción de 1 tonelada de acero, si se utiliza material reciclado se ahorra un barril y medio de petróleo.
- En la fabricación de 1 tonelada de aluminio se invierten 29 barriles de crudo que igualmente se podrían ahorrar.
- Si se incluye material recuperado en la producción de 1 tonelada de cobre se ahorran 7 barriles y medio de petróleo.
- Para fabricar 1 tonelada de vidrio se consumen 0.5 toneladas de fuel-oil, pero aportando calcín, el consumo se puede reducir en un 20%, a la vez que se disminuye el consumo de materias primas generadoras de contaminantes.

En la siguiente tabla se recogen algunos datos que demuestran el ahorro energético que supone para algunas industrias fabricar determinados productos a partir de materiales reciclados.

PRODUCTO	MATERIA VÍRGEN	MATERIA RECUPERADA	PORCENTAJE DE AHORRO DE ENERGÍA
<b>VIDRIO</b>	1,200	800	35
<b>HIERRO</b>	10,300	5,100	50
<b>PAPEL</b>	3,700	1,100	70
POLIETILENO	<b>4,500</b>	<b>500</b>	<b>89</b>
<b>ALUMINIO</b>	47,000	1,400	97

- Energía necesaria en la producción (kcal/kg)

Imagen 3.7 Comparación de las energías necesarias para la elaboración de productos a partir de materias vírgenes y de materias recuperadas.

### III.VI MÉXICO Y EL RECICLAJE HASTA EL AÑO 2011.

Para concluir este capítulo, se anexa la siguiente imagen en la cual se puede observar el incremento del reciclaje en los últimos años, sin embargo, en 2011 se recicló únicamente el 4.8% del volumen de residuos generados.

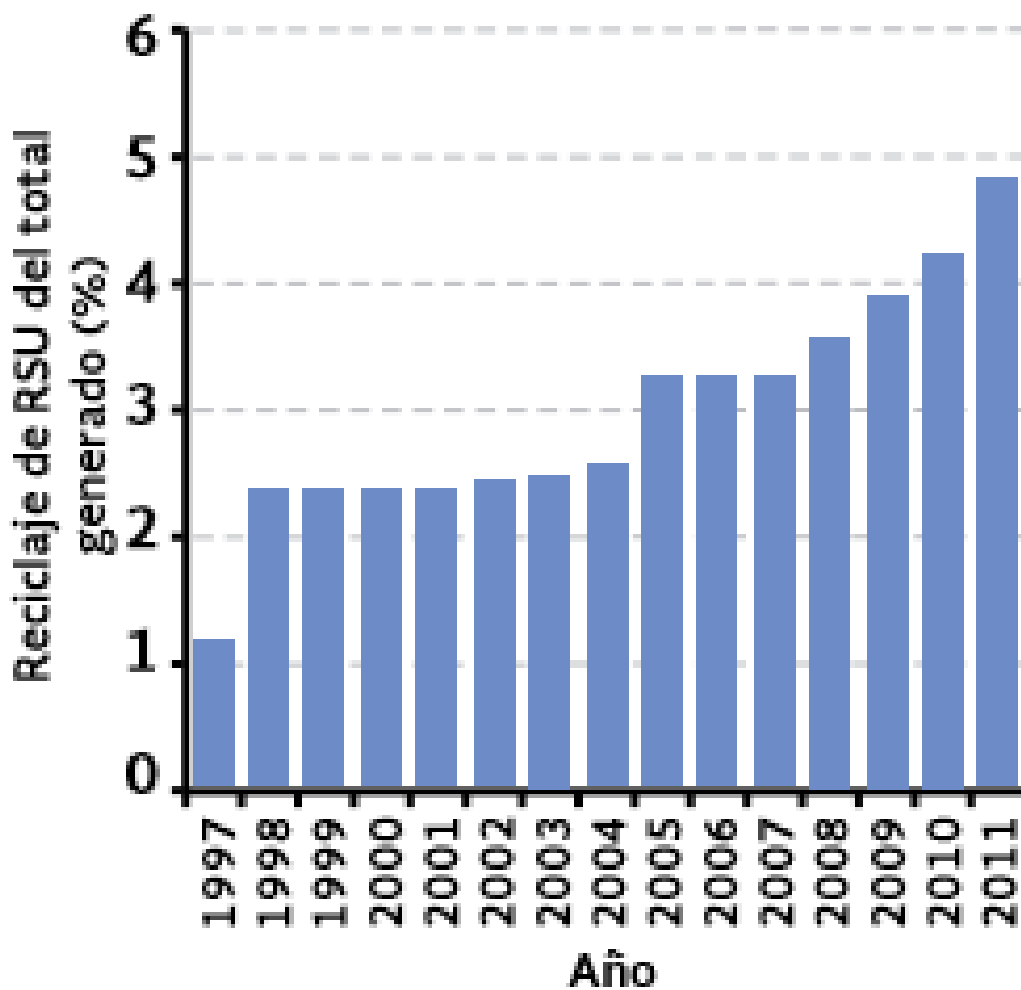


Imagen 3.8 Reciclaje en México entre 1997 y 2011.

FUENTE: Dirección General del Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México 2012.

Por otra parte podemos observar los porcentajes correspondientes a los diferentes materiales reciclados en el país.

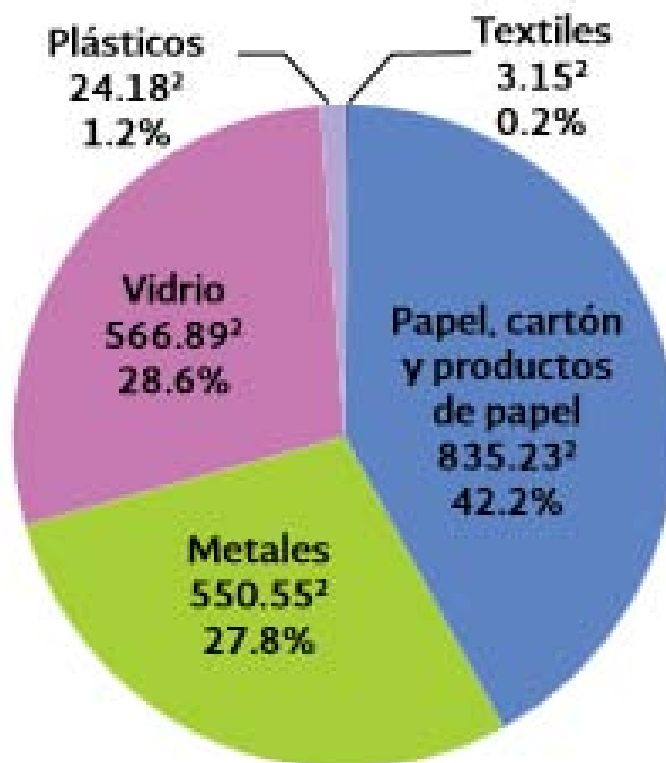


Imagen 3.9 Composición de los materiales reciclados<sup>1</sup> en 2011.

Fuente: Dirección General del Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México 2012.

<sup>1</sup> Notas a la imagen 3.9:

1. Las cantidades indicadas como volumen reciclado corresponden a los materiales recuperados en los sitios de disposición final.
2. Las cantidades están en miles de toneladas.



## CAPÍTULO IV

### LA PLASTIMADERA® Y SU CONTRIBUCIÓN A LA REDUCCIÓN DEL IMPACTO

#### AMBIENTAL.

##### IV.I LA PLASTIMADERA®.

La plastimadera® es un sustituto ecológico y confiable de la madera natural elaborada con polietileno de alta densidad reciclado (recolectado de desechos industriales y desechos post-consumo) a través de un proceso de extrusión.



Imagen 4.1 Código de identificación del polietileno de alta densidad así como materiales elaborados con esa resina plástica.

La EPA (Environmental Protection Agency) define como desecho post-consumo aquellos materiales o productos terminados que han servido a su uso y han sido desviados o recuperados de entre desechos destinados a su eliminación definitiva, habiendo completado su vida como artículos de consumo.

## **IV.II PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN PARA PLÁSTICOS.**

Para la transformación de los plásticos existen procesos primarios y procesos secundarios.

En los procesos primarios, el plástico se moldea mediante un proceso térmico donde el material sólido (pellet), pasa por el estado líquido y finalmente se solidifica y en los procesos secundarios, se utilizan medios mecánicos o neumáticos para formar el artículo final, sin pasar por la fusión del plástico.

Con base en estos criterios, los principales procesos de transformación se clasifican de la siguiente manera:

Procesos primarios	Procesos secundarios
Extrusión	Estirado
Inyección	Doblado
Soplado	Corte
Calandreo	Torneado
Rotomoldeo	Barrenado

Imagen 4.2 Procesos primarios y secundarios para la transformación de plásticos.

#### **IV.III Descripción del proceso de extrusión.**

- **Materia prima**

Antes de describir el proceso de extrusión es importante mencionar que para poder llevar a cabo dicho proceso, el componente principal será materia prima post consumo de polietileno de alta densidad que de acuerdo al color de la materia prima original, se obtendrá soplado multicolor, soplado blanco y soplado natural, como se observa en las siguientes imágenes.

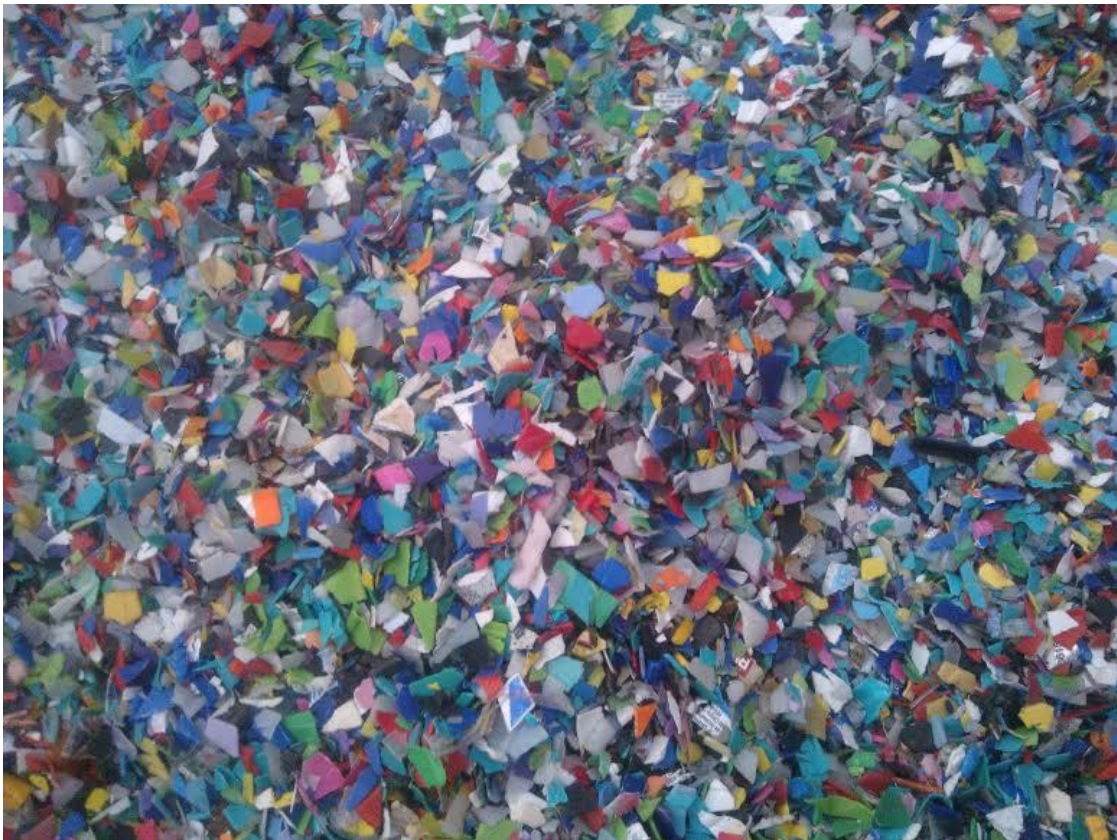


Imagen 4.3 Soplado multicolor.



Imagen 4.4 Soplado blanco.



Imagen 4.5 Soplado natural.

Cabe mencionar que para proyectos especiales se utiliza polietileno de alta densidad virgen el cual tiene propiedades intrínsecas intactas, no posee pigmentación y no tiene degradación alguna.



Imagen 4.6 Resina virgen de polietileno de alta densidad.

- **Formulación del producto.**

Dentro de las plantas de transformación se cuenta con el departamento de formulación el cual es responsable de que el perfil solicitado cumpla con los estándares de calidad requeridos para su comercialización para lo cual se debe integrar de manera simultánea la materia prima junto con los pigmentos, colorantes, cargas y/o aditivos necesarios.

Es importante mencionar que los aditivos son sustancias que se adicionan a las resinas con el propósito de modificar sus propiedades físicas, químicas, eléctricas o reológicas. El objetivo de modificar estas propiedades es facilitar su procesamiento en la máquina y proporcionarle al producto final las características de diseño especificadas.

Los aditivos más utilizados en los plásticos son los siguientes:

- Absorbentes de luz ultravioleta: estos materiales se utilizan para retardar la degradación del plástico por efecto de los rayos ultravioleta (UV), al absorberlos y evitar el rompimiento de las ligas C-C, C-H y C-halógenos.
- Agentes antiestáticos: disipan y/o eliminan las cargas electrostáticas de la superficie de los polímeros, originadas por la fricción de éstos con alguna otra superficie e incluso con el aire.
- Lubricantes: tienen la propiedad de disminuir la viscosidad del plástico fundido (lubricante interno) y reducir la adhesión y fricción entre la máquina de procesamiento y el plástico (lubricante externo).
- Antioxidantes: Inhiben o retardan la degradación por efecto de la oxidación atmosférica durante la fabricación, almacenaje y uso de plásticos. La degradación del polímero se produce por una secuencia compleja de reacciones químicas, en las que el oxígeno ataca a las cadenas de la macromoléculas y rompe los enlaces.
- Cargas: Son utilizadas para proporcionar al plástico opacidad, modificar algunas propiedades mecánicas y bajar costos. La mayoría de las cargas son inertes, pueden ser inorgánicas y orgánicas.

- Catalizadores: Se utilizan en las resinas termoestables, para curar y acelerar la reacción de polimerización.
- Desmoldantes: Facilitan la separación o extracción de piezas moldeadas, del molde correspondiente.
- Fungicidas: Evitan la formación o proliferación de hongos, bacterias y microorganismos en los plásticos que están expuestos a la humedad.
- Pigmentos: Son incorporados para conferir color a los materiales polímeros. La diferencia entre un pigmento y un colorante se basa en el concepto de compatibilidad o solubilidad en el material
- Plastificantes: Son agentes que proporcionan al plástico flexibilidad y baja dureza. En algunos casos se utilizan como ayudantes de proceso, ya que disminuyen la viscosidad del material fundido, así como la temperatura de plastificación.
- Materiales reforzantes: Se emplean para mejorar las propiedades mecánicas, tales como resistencia al impacto, a la tensión o a la compresión.
- Retardantes de flama: Demoran la propagación de las flamas a lo largo y a través de su superficie.

Una vez elaborada la formulación, el departamento de producción es el encargado de convertir la materia prima en un perfil con determinada geometría gracias a un proceso de extrusión.



- **Proceso de extrusión.**

Una vez elaborada la formulación correspondiente, la materia prima alimenta al extrusor por la tolva para posteriormente ser atrapada por el husillo y empujada a través del cilindro, donde por el calor generado debido a la fricción y el proporcionado por las resistencias eléctricas colocadas en la parte exterior del cañón, se plastifica lo suficiente para continuar su viaje hasta la boquilla.

La energía para plastificar el material proviene mayormente del motor, el cual hace girar el husillo, de esta forma, el empuje del tornillo provoca que el material salga a través del cabezal, donde se encuentra la placa rompedora y el dado.

Cuando el material plastificado sale de la boquilla (dado), toma la forma de ésta, y así se obtiene el producto, por ejemplo, una rendija larga hace una película plana o una lámina, una abertura circular hace tubos, muchos agujeros pequeños hacen filamentos, etc.

Ya fuera del cabezal, el plástico se enfría (con aire, agua o contacto con rodillos metálicos) y finalmente se corta en las dimensiones requeridas.



Imagen 4.7 Vista panorámica de una planta transformadora de polietileno de alta densidad postconsumo.



#### **IV.IV Equipo de una línea de extrusión.**

**Tolva:** Depósito de forma circular y cónica rectangular, en el cual se colocan los pellets del material plástico; en su parte inferior tiene un orificio grande que se comunica hasta la entrada del extrusor.



Imagen 4.8 Tolva.

**Cañón**: Cilindro metálico que constituye el cuerpo principal de la máquina de extrusión, aloja al husillo y cuenta con resistencias eléctricas que proporcionan la energía que el material requiere para ser fundido.



Imagen 4.9 Cañón.

**Husillo:** Tornillo sin fin a través del cual el material es transportado a lo largo del cañón, cuenta con álabes, los cuales sirven para transportar y compactar.



Imagen 4.10 Husillo.

El husillo trabaja a lo largo de tres zonas dentro del extrusor:

**Zona de alimentación:** es la zona más cercana a la tolva y el tamaño de los alabes es máximo, tiene como función transportar y compactar el material.

**Zona de compresión:** es la zona intermedia en la cual el tamaño de los alabes disminuye gradualmente, aquí el material se compacta y tiene lugar la fusión.

**Zona de dosificación:** es la zona final más cercana a la boquilla y el tamaño de los alabes es pequeño, el material es fundido, homogenizado y presurizado.



**Panel de control:** Permite regular las temperaturas de las zonas de calentamiento.



Imagen 4.11 Panel de control.

**Dado:** Es un componente herramental bajo diseño, que permite que el material fundido entre con mayor facilidad al formador, corresponde a la última zona del extrusor.

**Tina de vacío:** En su interior contiene el molde formador, en esta etapa, se genera vacío por acción de un sistema de bombeo y el material fundido adquiere la forma geométrica del molde por choque termodinámico, el agua dentro de la tina solidifica al perfil.



Imagen 4.12 Tina de vacío.

Posteriormente el perfil es enfriado a lo largo de la tina de enfriamiento para darle estabilidad térmica, mecánica y física.



Imagen 4.13 Tina de enfriamiento.

**Rodillos**: Sistema mecánico cuya función es jalar el perfil para pasar a la zona de corte.



Imagen 4.14 Rodillos.





Imagen 4.15 Rodillos.



Imagen 4.16 Rodillos y vista final de las líneas de producción.

Una vez extruido el perfil, se le da el acabado final necesario para su comercialización.



Imagen 4.17 Producto terminado (tarimas plásticas).



Imagen 4.18 Producto terminado (tejas plásticas planas).





Imagen 4.19 Producto terminado (tejas plásticas curvas)

#### **IV.V CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DE LA PLASTIMADERA®.**

Su apariencia y funcionalidad es muy parecida a la madera ya que se puede trabajar con las herramientas convencionales, su manipulación y el proceso de armado es muy parecido al de la madera natural.

Dependiendo de la necesidad de cada cliente (uso y aplicación), se elabora un perfil con características únicas mediante el desarrollo de formulaciones especiales logrando un producto final a la medida de cada necesidad.

Algunas ventajas de este material son:

- 100% Ecoamigable.
- 100% Rentable.
- Mínimo mantenimiento.
- No absorbe agua, por lo que no se hinchan ni se pudre.
- Durable y resistente.
- Color integrado (verde, amarillo, blanco, rojo, café, azul, negro, etc).
- Impermeable.
- No absorbe contaminantes, hongos ni insectos.
- Amplia variedad de formas, tamaños y colores.

Ventajas de la plastimadera® contra otros polímeros.

	 <b>Plastimadera®</b>	OTROS POLIMEROS
Mantenimiento mínimo		
Color Integrado		
Ecológico		
A prueba de putrefacción		
Fácil de instalar		
Libre de absorción de contaminantes		
Impermeable		
Ignífugo		
Fácil de maquinar		
Resistencia al Intemperismo		

Imagen 4.20.

Ventajas de la plastimadera® contra otros materiales.

CUADRO COMPARATIVO		GRUPO GYSAPOL S.A. de C.V.			
DESCRIPCIÓN	Plastimadera®	MADERA	CONCRETO	TUBO METÁLICO	PVC
Libre de mantenimiento	♻️	❌	❌	❌	♻️
Color integrado	♻️	❌	❌	❌	SOLO BLANCO
Ecológico	♻️	❌	❌	❌	❌
A prueba de putrefacción	♻️	❌	♻️	❌	♻️
Inastillable	♻️	❌	♻️	❌	♻️
Fácil de instalar	♻️	♻️	❌	❌	❌
Libre de absorción de contaminantes	♻️	❌	❌	❌	♻️
Impermeable	♻️	❌	❌	❌	♻️
Fácil de limpiar	♻️	❌	❌	❌	♻️
Ignífugo	♻️	❌	♻️	♻️	❌
Fácil de maquinar	♻️	♻️	❌	❌	❌

Imagen 4.21.

Como se puede apreciar, este material posee ventajas sobre materiales tradicionales como la madera, cemento, tuberías metálicas, entre otros, ya que todos los materiales mencionados anteriormente requieren de un mantenimiento constante que incluso ocasiona el tener que reemplazar un alto porcentaje del mismo para mantener tanto su apariencia como su función en buen estado, por lo que en la actualidad se están reemplazando dichos materiales y se fabrican perfiles plásticos para la industria automotriz, agropecuaria, de la construcción, ferroviaria, vial, alimenticia, entre otras.



Imagen 4.22 Comparación de la plastimadera® contra la madera de una cerca.



Imagen 4.23 Comparación de la plastimadera® contra la madera para una tarima.

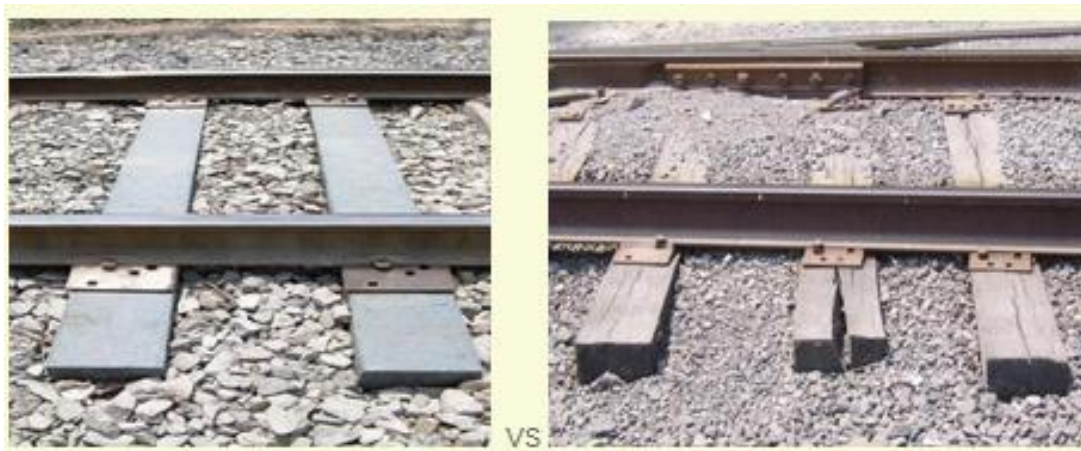


Imagen 4.24 Comparación de la plastimadera® contra la madera para los durmientes del tren.

Gracias al proceso y al producto mencionado anteriormente con su elaboración se reduce por un lado la contaminación ambiental por residuos plásticos y por otra parte, gracias a la investigación y desarrollo de estos productos reciclados y reciclables de madera plástica, se logra evitar la tala descontrolada de árboles y bosques ya que ha comprobado lo siguiente:

El Ébano, árbol de excelente madera que se encuentra en el norte de Veracruz y en la península de Yucatán, con alturas de hasta 15 m y 80 cm de diámetro, genera una producción (sólo de su pulpa) de aproximadamente 20 pilotes de 0.18x0.20x2.6m (6x8" y 2.6m de largo) con un peso individual de 112.32 kg, consumiendo un total de 2,246.4 kg de madera para la fabricación de los pilotes y que en una planta industrial procesadora de polietileno de alta densidad postconsumo, se logran producir esos mismos polines con 2,000 kg de polímero reciclado y se evita la deforestación de un árbol maduro que sirve como filtro ya que remueve el carbono (C) del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y lo fija en el tronco como celulosa y el oxígeno (O<sub>2</sub>) es enviado a la atmosfera. Un árbol sano almacena aproximadamente 6 kg de carbono por año.

No hay que olvidar que la materia prima de los plásticos es el petróleo, un recurso no renovable, el polietileno reciclado que se utiliza para este proceso, son los envases de productos alimenticios, detergentes, belleza, limpieza y cubetas esto contribuye activamente en el mejoramiento del medio ambiente y la ecología

## **RECOMENDACIONES**

Así como con el paso del tiempo y con la contribución de cada uno de nosotros las cosas llegaron a ser lo que son ahora, de la misma forma cada uno de nosotros tenemos el poder de hacer algo para ayudar al planeta, a continuación propongo algunas acciones sencillas a nivel individual e industrial, que sin duda alguna contribuirían a reducir el grave problema de generación de residuos plásticos que hoy enfrenta el mundo entero si las ponemos en práctica.

De manera individual, son las siguientes:

- No pidas bolsas de plástico, reflexiona si en verdad las necesitas, de preferencia al hacer las compras lleva tus propias bolsas de tela para no generar más basura.
- Reduce al máximo el uso de productos de plástico, esto quiere decir, rellena los envases ¿por qué comprar una nueva botella si lo importante es el contenido?
- Recicla el plástico lo más que puedas para producir menos basura, cuando se ordenan de mejor forma los desechos, no sólo estamos haciendo un favor social, sino que también puedes obtener algún recurso monetario por la clasificación de dichos materiales que en un futuro se podrán revender o reutilizar.

Para las industrias aplican las siguientes recomendaciones:

- Mejora de etiquetas, cuántas personas se hacen la siguiente pregunta al depositar la basura, ¿Esta basura va en el bote 'orgánico' o 'inorgánico'?

- Campañas de concientización para que los ciudadanos comprendan la amenaza que el plástico mal dispuesto representa para su salud y para el bienestar del planeta.
- Aplicar la responsabilidad extendida y responsabilizarse de nuevas formas de diseño, recuperación y desechos, en Taiwán han sido efectivas para reducir contaminantes, reciclando el 90% de su plástico, una cifra muy elevada si se compara con Estados Unidos, donde apenas se recicla poco más de 12.1%.

Sin duda alguna hay mucho por hacer así que como ciudadanos es necesario establecer un compromiso a nivel personal ya que se trata de un asunto de comportamiento individual, educación y cultura.

## **CONCLUSIONES**

Con este trabajo de tesis se concluye que debido a sus características, los plásticos son los polímeros más importantes en el mercado (más que los hules, fibras y las pinturas) debido a sus características, ya que de las 72 ramas de la actividad económica del país dicha industria provee de insumos a 59 de estas, razón por la cual se producen con una fuerte demanda y hoy en día se han convertido en un serio problema de contaminación.

Para la elaboración de este trabajo que en esencia es mostrar la contribución a la reducción del impacto ambiental mediante un producto sustentable se seleccionó una de las tantas resinas plásticas que existen en el mercado y que es el polietileno de alta densidad, y que a su vez está comprobado que su uso y presencia en la vida cotidiana es muy importante por lo cual es un polímero con un alto porcentaje en los lugares de disposición final, por lo cual si no somete a un proceso de reciclaje este problema sigue incrementándose.

También se puede concluir, que parte de la solución a la contaminación ambiental por residuos plásticos existen actualmente procesos industriales (proceso de transformación del polietileno de alta densidad), en los cuales a partir de la recuperación de las resinas post consumo se generan nuevos productos con un valor agregado; y a su vez se reduce la contaminación al retirar gran parte de estos plásticos de los vertederos.



## **BIBLIOGRAFÍA**

- Tecnología de materiales. María Elena Sánchez Vergara, Iván Enrique Campos Silva. Editorial Trillas, 2010.
- Introducción a la química ambiental. Manahan, Stanley E. Editorial Reverté, 2007.
- Ciencia e ingeniería de materiales. Askeland, Fular, Wright. Sexta edición. Cengage learning, 2012.
- Química ambiental. Colin, Baird. Segunda edición. Editorial Reverte, 2014.
- Contaminación ambiental, una visión desde la química. Carmen Orozco Barrenetxea. Thomson 2003.
- Ingeniería ambiental. Javier Arellano Díaz, Jaime Eduardo Guzmán Pantoja. Alfaomega. 2011.
- Resistencia de materiales. Robert L. Mott. 5ta edición. Pearson Education, 2009.
- Introducción a la ingeniería medio ambiental. Gilbert M. Maste, Wendel P. Ela. Pearson Prentice Hall.
- Ciencia e ingeniería de materiales. William F. Smith. 3era edición. Mc Graw Hill, 2005.
- Principios de química. Zumbahl, Stevens S. 7ma edición, Cengage Learning Editores, 2012.
- Fundamentos de química. Morris Hein, Susan Arena. 12va Edición, Cengage Learning, 2010.

- Introducción a la ciencia y tecnología de los plásticos. José Eduardo Morales Méndez. Editorial Trillas, 2010.
- Transformación y reciclado de polímeros. Heliodoro Hernández Luna. IPN, Dirección de publicaciones, 2010.
- Tecnología de polímeros: procesado y propiedades. Maribel Beltrán Rico. Publicaciones de la Universidad de Alicante, 2012.
- Química orgánica. John McMurry. 8va edición. Cengage Learning 2012.
- Tesis “Tendencias de reciclamiento de envases PET”. Ingeniero Químico Aarón Barrios Camacho. Universidad Nacional Autónoma de México, 2005.

#### Artículos en línea.

- “Por la cultura de usar y tirar... El planeta se ahoga en una sopa de plástico”. 27 de mayo de 2013, número especial <http://www.jornada.unam.mx/2013/05/27/eco-cara.html>
- “Ciudad Neza, como viven 17,537 mexicanos en un kilómetro cuadrado”. Septiembre de 2011. Revista National Geographic en Español.

#### Páginas electrónicas.

- <http://www.gysapol.com/> (2014)
- <http://www.inegi.org.mx/> (2014)
- <http://www.bancomundial.org/> (2015)
- <http://www.semarnat.gob.mx/> (2014)
- <http://www.epa.gov/> (2015)
- <http://www.greenpeace.org/mexico/es/> (2014)

- [Diccionario de la Real Academia Española \(2015\)](#)
- <http://www.un.org/es/home/index.html> (2015)