



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

# **Impacto ambiental de envases multicapa**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Industrial**

**P R E S E N T A**

Mariana Canepa Becerril

**DIRECTORA DE TESIS**

Mtra. Alejandra Medina Arévalo



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

# ÍNDICE

<b>ABREVIATURAS</b> .....	<b>5</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>7</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO 1º. INTRODUCCIÓN AL ENVASE MULTICAPA</b> .....	<b>13</b>
1.1 DEFINICIONES .....	13
1.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ENVASES MULTICAPA .....	14
1.3 MATERIALES PARA ENVASE .....	16
1.4 ENVASE MULTICAPA.....	17
a) <i>Polietileno (PE)</i> .....	18
b) <i>Cartón</i> .....	19
c) <i>Aluminio</i> .....	20
1.5 HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LOS ENVASES MULTICAPA.....	20
<b>CAPÍTULO 2º. NORMATIVIDAD NACIONAL, INTERNACIONAL Y SITUACIÓN ACTUAL DE LOS ENVASES MULTICAPA</b> .....	<b>25</b>
2.1 NORMATIVIDAD NACIONAL PARA RESIDUOS SÓLIDOS .....	25
2.1.1 <i>Programa Nacional de Desarrollo 2013-2018</i> .....	25
2.1.2 <i>Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)</i> .....	26
2.1.3 <i>Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)</i> .....	27
2.1.4 <i>Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal</i> .....	28
2.1.5 <i>Iniciativa de Ley Federal de Envases y Embalajes</i> .....	29
2.1.6 <i>Artículo 19º, LGPGIR</i> .....	30
2.1.7 <i>Artículo 28º, LGPGIR</i> .....	30
2.1.8 <i>NOM-161-SEMARNAT 2011</i> .....	31
2.1.9 <i>Cámara del Papel</i> .....	34
2.1.10 <i>Plan de manejo para los residuos de papel y cartón en México</i> .....	35
2.2 NORMATIVIDAD INTERNACIONAL PARA ENVASES Y RESIDUOS .....	36
2.2.1 <i>Directiva Europea 2004/12/CE relativa a los envases y a los residuos de envases</i> .....	36
2.2.2 <i>Prevención y minimización de residuos</i> .....	37
2.3 ENVASE MULTICAPA Y SU SITUACIÓN ACTUAL EN MÉXICO.....	40
2.3.1 <i>Reciclaje en México</i> .....	43
2.3.2 <i>Recuperación y reciclaje en el mundo</i> .....	46
2.3.3 <i>Directriz sobre el manejo de Bosques</i> .....	48
<b>CAPÍTULO 3º. INDICADORES AMBIENTALES Y METODOLOGÍA</b> .....	<b>49</b>
3.1 INDICADORES AMBIENTALES.....	50
3.2 INDICADORES AMBIENTALES PARA LA EIA .....	50
3.3 INDICADORES INTERNACIONALES Y NACIONALES .....	51
3.4 IMPACTOS AMBIENTALES .....	54
3.5 METODOLOGÍA PARA CALIFICAR EFECTOS AMBIENTALES.....	54
3.5.1 <i>Método matricial de interacción</i> .....	55

<b>CAPÍTULO 4º. ANÁLISIS CICLO DE VIDA Y DETERMINACIÓN DE IMPACTOS</b>	
<b>AMBIENTALES .....</b>	<b>58</b>
4.1 ANÁLISIS CICLO DE VIDA .....	58
4.1.1 ISO 14040.....	60
4.2 ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DE LOS ENVASES MULTICAPA.....	61
4.2.1 Transporte de materias primas.....	61
4.2.2 Proceso productivo.....	61
4.2.3 Etapa de llenado.....	62
4.2.4 Consumo de materias primas, agua y energía.....	62
4.3 ESTUDIOS SOBRE ANÁLISIS CICLO DE VIDA DE ENVASES Y EMBALAJES .....	65
4.3.1 Estudio del Análisis Ciclo de Vida (ACV) del manejo de envases de bebidas de polietileno-tereftalato (PET) en la fase de post-consumo.....	65
4.3.2 Análisis de Ciclo de Vida de vasos desechables en México- Poliestireno Expandido EPS.....	70
4.4 IMPACTO AMBIENTAL Y GENERACIÓN DE CONTAMINANTES .....	72
4.4.1 Industria papelera .....	72
4.4.2 Industria de los plásticos .....	73
4.4.3 Reducción de recursos.....	73
4.5 DETERMINACIÓN DE IMPACTOS.....	74
4.5.1 Consideraciones .....	75
4.5.2 Conclusiones de la matriz de Leopold.....	80
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>83</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>87</b>
<b>DEFINICIONES .....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO A .....</b>	<b>91</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>97</b>

Imagen 1. Sistema de envase y embalaje, “Envase, embalaje y material de empaque” BANCOMEXT .....	7
Imagen 2. Composición de envase multicapa, .....	18
Imagen 3. Envase con forma de tetraedro, Tetra Pak.....	22
Imagen 4. Envase con forma de paralelepípedo, Tetra Pak .....	23
Imagen 5. Distribución geográfica de recicladores de envases multicapa en México. Fuente Tetra Pak.....	44
Imagen 6. Distribución geográfica de plantas recicladoras de polietileno y aluminio en México. Fuente Tetra Pak .....	45
Imagen 7. Ciclo de vida del envase multicapa, Fuente Tetra Pak.....	61
Gráfica 1. Destino de los ingresos por país.....	8
Gráfica 2. Producción Nacional por tipo de material. Fuente AMEE 2014.....	40
Gráfica 3. Valor de producción por tipo de material. Fuente AMEE 2014. ....	41
Gráfica 4. Gasto del consumo final privado. Fuente SNIA SEMARNAT, 2014.....	41
Gráfica 5. Generación total de RSU. Fuente SNIA SEMARNAT, 2014.....	42
Gráfica 6. Generación de RSU per cápita. Fuente SNIA SEMARNAT, 2014 .....	42
Gráfica 7. Tasa de reciclaje de envases multicapa. Fuente Tetra-Pak, 2014 .....	46
Tabla 1. Comparación de las propiedades de los materiales para envase y embalaje.....	16
Tabla 2. Indicadores Ambientales.....	53
Tabla 3. Producción de envases y generación de RSU .....	76
Tabla 4 Estatus y cantidad de material multicapa .....	79
Tabla 5 Etapa del ciclo de vida y toneladas de CO2.....	79

## **Abreviaturas**

PET.- Tereftalato de polietileno

PE.- Polietileno

PS.- Poliestireno

RSU.- Residuos sólidos urbanos

LGPGR.- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

LEGEEPA.- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

ACV.- Análisis Ciclo de Vida

OCDE.- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

SEMARNAT.- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

INEGI.- Instituto Nacional de Estadística y Geografía

GEMI.- Global Environmental Management Initiative

LDPE o PEBD.- Polietileno de baja densidad

FSC.- Consejo de Administración Forestal

NOM.- Norma Oficial Mexicana

OCPSF.- Químicos Orgánicos, Plásticos y Fibras Sintéticas pos sus siglas en inglés.

DBO5.- Demanda Bioquímica de Oxígeno

SST.- Sólidos Suspendidos Totales

## Resumen

Según lo estipulado en Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos<sup>1</sup>, un envase es el componente de un producto que cumple la función de contenerlo y protegerlo para su distribución, comercialización y consumo<sup>2</sup>.

Los envases han evolucionado a lo largo de los años, los hay de un sólo material, por ejemplo: latas de aluminio, botellas de vidrio y cajas de cartón; los envases compuestos o multicapa, hechos con diversas capas alternas de dos o más materiales como: papel y aluminio, plástico y aluminio, papel y plástico, por mencionar algunos.

Este trabajo tiene como objetivo investigar mediante bibliografía el impacto ambiental de los envases multicapa a través del tiempo, desde su creación hasta la actualidad, así como la normatividad a nivel nacional e internacional que rige su fabricación, tratamiento y disposición final; estimar la huella de carbono que se genera en el proceso, determinar algunos indicadores adicionales a los tradicionales de impacto ambiental y opciones de manejo integral del envase multicapa.

---

<sup>1</sup> Diario Oficial de la Federación, 08-octubre-2008.

<sup>2</sup> LGPGIR, artículo 5, fracción VI.

## Introducción

La función de los envases es contener y conservar los productos en óptimas condiciones, hacen posible su almacenamiento y transporte sin alterar su contenido, además, facilitan la comercialización y la dosificación del mismo, pero su destino va más allá dado que los envases son el principal agente de ventas en los supermercados, debido a que captan la atención del consumidor, proveen información sobre el producto que contienen y brindan seguridad de lo que se está comprando. Un envase eficaz debe ser sencillo, comunicar con rapidez que producto vende y reflejar la imagen del producto.

Entendemos como envase al componente de un producto que cumple la función de contenerlo y protegerlo para su distribución, comercialización y consumo; y al embalaje como el material que envuelve, contiene y protege los productos envasados.

A partir de la segunda mitad del siglo XX se presentaron grandes cambios en cuanto a la producción y comercialización de los productos. Actualmente, el aumento en el consumo ha intervenido para convertir a la industria del envase y embalaje en una de las industrias más grandes del mundo.

En la imagen 1 se aprecia los tipos de envase y embalaje:

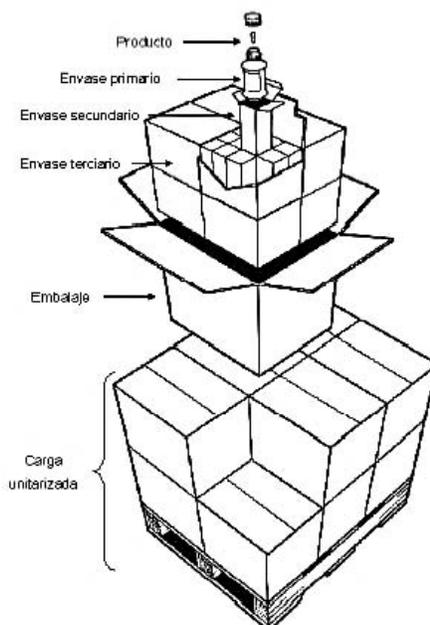
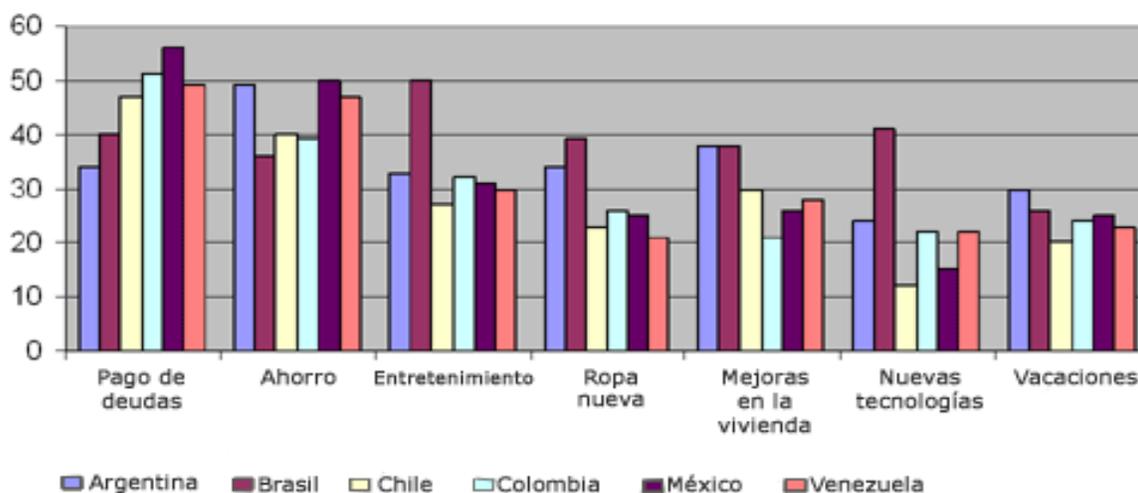


Imagen 1. Sistema de envase y embalaje, "Envase, embalaje y material de empaque" BANCOMEXT.

Una de las desventajas del uso de envases y embalajes es la explotación de recursos naturales que va en aumento con la extracción de materia prima para su fabricación, actualmente los envases producidos son raramente reciclados o integrados a los ciclos de procesos productivos.

En México la contaminación por este tipo de residuos es tangible y visible. Somos un país con un mercado diverso en productos, envases y tendencias.

En la gráfica 1 podemos apreciar que una buena parte de los ingresos de los mexicanos son destinados a: entretenimiento, ropa nueva y mejoras en la vivienda; la realización de estas actividades conlleva a la generación de residuos sólidos, por ejemplo: en el entretenimiento (una salida al cine) generalmente implica el consumo de algún alimento o bebida, entonces los envases de dichos alimentos o bebidas se vuelven residuos sólidos urbanos o residuos de manejo especial, esto dependiendo de su punto de generación y/o su cantidad; la adquisición de ropa nueva va de la mano con bolsas de plástico o papel y cajas de cartón; las remodelaciones en la vivienda van acompañadas de remodelación de espacios, la adquisición de muebles o aparatos electrónicos y de los embalajes que los contienen.



Gráfica 1. Destino de los ingresos por país, Nielsen 2009.

La mayoría de las actividades del ser humano tienen como consecuencia la generación de residuos sólidos, de los cuales un porcentaje importante le corresponde al rubro de envases y embalajes.

Hace más de veinte años el gobierno federal de México, planteó esquemas para reducir la generación de residuos de los envases por medio del reciclaje, reutilización y/o tratamiento, desafortunadamente se han tenido escasos logros en ese aspecto y hoy en día la mayoría de los envases siguen siendo enviados a los sitios de disposición final, reduciendo la vida útil de estos.

Según el libro “Manuales para regular los residuos con sentido común. Contaminación por residuos: Valorización de residuos, participación social e innovación en su gestión” Cortinas, C. 2003., de los treinta y cuatro países que conforman la OCDE<sup>3</sup>, incluyendo México, aproximadamente la tercera parte de los residuos domésticos y comerciales corresponde a envases y embalajes, esto se traduce en aproximadamente 140 millones de toneladas anuales, generados por los países que forman parte de la OCDE.

Datos publicados en la página de la SEMARNAT<sup>4</sup>, indican que en el año 2012 se generaron 5, 882,820 toneladas de papel, cartón y productos del papel de un total de 42, 102,750 toneladas en total, es decir, aproximadamente el 14% pertenece a residuos de papel y cartón. Del total de residuos sólidos urbanos generados; 74.4% es decir, 31, 323,390 toneladas, se van a sitios de disposición final controlados y el resto equivalente al 25.6% se va a tiraderos (sitios de disposición final no controlados).

Para 2013, la situación en el país no cambio significativamente, con datos proporcionados por SUSTENTA<sup>5</sup> en el IV SEMINARIO GEMI<sup>6</sup> SOBRE RESIDUOS, tenemos lo siguiente:

- 115,350 toneladas/diarias de RSU<sup>7</sup> son generadas en México.
- 0.99 kg/per cápita diario.
- Es decir, 42.1 millones toneladas/año, de los cuales:
  - 78.5% va a sitios de Disposición Final, y de este total:
    - 60.5% va a Rellenos Sanitarios
    - 15.9% a Tiraderos de Cielo Abierto
    - 23.5% No se conoce su paradero
- De esos 42.1 M toneladas/año, 4.96 M toneladas/año son residuos recuperados, es decir, solamente el 11.8% tiene una segunda vida.

---

<sup>3</sup> OCDE: Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico

<sup>4</sup> SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

<sup>5</sup> SUSTENTA: Asociación Civil de Compromiso Empresarial para el Manejo Integral de los Residuos Sólidos

<sup>6</sup> GEMI: Global Environmental Management Initiative

<sup>7</sup> RSU: Residuos sólidos urbanos.

Una medida importante para remediar el problema de los residuos provenientes de envases radica en el diseño sustentable de los mismos, hoy en día es necesario diseñar envases considerando su manejo al final de su vida útil.

Existen diversos tratamientos para aquellos envases que están hechos de una sola materia prima, llámese vidrio, cartón, plástico o metal; logrando recuperar hasta 143 toneladas de papel y cartón, 70 toneladas de PET y 6 toneladas de Aluminio, esto para el año 2012 según información del INEGI, Residuos Sólidos Urbanos, Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2013; pero los envases multicapa no son posibles de reciclar para volver a fabricar envases debido al grado de exigencia, calidad e higiene que deben cumplir al ser envases destinados a almacenar alimentos; sin embargo, hay formas de aprovecharlos, por ejemplo, se puede extraer celulosa de muy alta calidad para fabricar cualquier tipo de papel.

Los envases multicapa tienen diferentes opciones de ser aprovechados al término de su ciclo de vida para disminuir su envío a disposición final, por lo cual es necesario desarrollar programas y planes de separación de residuos y posteriormente trasladarlos a plantas de tratamiento en donde será posible convertirlos en objetos útiles para la sociedad.

## **Justificación**

Los centros urbanos han sufrido un crecimiento acelerado en las últimas décadas y con ello el incremento del consumo de productos de vida útil corta, lo que ocasiona que el manejo de los diferentes tipos de envase se torne una situación compleja.

Con la finalidad de reducir y regular el efecto de los envases como residuos en el ambiente, en México se ha propuesto en la LGPGIR<sup>8</sup> fortalecer la investigación y desarrollo científico para reducir la generación de residuos y diseñar alternativas para su tratamiento, pues la capacidad de los tres niveles de gobierno: Federal, Estatal y Municipal, de la sociedad y del sector industrial ha sido rebasada.

Desde el punto de vista técnico existen soluciones para el manejo de envases multicapa, los problemas radican en la falta de infraestructura para la separación y reciclado, además de la falta de información y educación en la sociedad.

La participación en conjunto: gobierno, sociedad e industria es la clave para el manejo integral de residuos, no sólo de envases multicapa, sino de todos los residuos que generamos día con día.

---

<sup>8</sup> LGPGIR: Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos.

## **Objetivos**

Estimar la cantidad de emisiones de dióxido de Carbono que se emiten a la atmósfera durante el ciclo de vida de las envases multicapa y realizar una investigación bibliográfica de la situación actual de la legislación nacional e internacional que rige su tratamiento post-consumo, reaprovechamiento y disposición final.

Investigar mediante las metodologías que conforman el Análisis Ciclo de Vida (ACV), las entradas y salidas de los materiales que configuran los envases multicapa.

Conocer y medir los impactos ambientales significativos de los envases multicapa y determinar los indicadores para la medición de éstos.

## **Capítulo 1º. Introducción al envase multicapa**

En este capítulo se dan algunas definiciones importantes para el desarrollo de esta tesis, así como la historia y evolución de los envases multicapa, los materiales, su composición y su proceso de producción.

### **1.1 Definiciones**

En México la mayoría de las personas utilizan en su lenguaje común las palabras envase y empaque de forma indiscriminada, mientras que el concepto de embalaje no está presente en el vocabulario cotidiano.

Para efectos de este trabajo se entiende por envase al componente de un producto que cumple la función de contenerlo y protegerlo para su distribución, comercialización y consumo de acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). Existen varios tipos de envases definidos con base en su función y su interacción con el producto, los envases primarios contienen directamente al producto, mientras que los secundarios contienen al envase primario, un ejemplo muy claro son las medicinas: el medicamento está dentro de un frasco o blíster que hace la función de envase primario, pero ese frasco o blíster está dentro de una caja de cartón, es decir, el envase secundario.

Según el glosario de la página de internet del Banco Nacional de Comercio Exterior (Bancomext), el envase se define como aquel material que envuelve, contiene y protege los productos envasados; el embalaje protege y resiste las operaciones de transporte y manejo, también identifica su contenido. El embalaje que más se utiliza en la distribución de productos son las cajas de cartón corrugado.

Siguiendo con las definiciones de Bancomext, el empaque es el material colocado alrededor de uno o varios artículos en el interior de un embalaje, a fin de protegerlos contra impactos y vibraciones a lo largo de la distribución. Hoy en día existe una gran variedad de materiales de empaque, como: poliestireno expandido, burbujas de aire, bolsas de aire, etc.

## 1.2 Proceso de Producción de envases multicapa

El proceso de producción de los envases multicapa comienza con la impresión del papel, éste llega en grandes bobinas y en él se imprimen los diferentes diseños dependiendo de las especificaciones de los clientes; la impresión se hace por medio de flexografía. Donde el papel se carga al comienzo de la impresora y va pasando por diferentes rodillos de impresión, cada rodillo va impregnando un color de tinta distinto sobre el papel, generalmente se utilizan siete rodillos consecutivos lo cuales van aplicando la tinta elaborada a base de agua, debido al grado alimenticio que se requiere. La velocidad de impresión es de 600 metros por minuto, cuando el papel sale de la impresora el diseño está completo y la tinta seca.

Una vez que el papel está impreso inicia la laminación, proceso que consiste en cubrir al papel con diferentes capas de polietileno y aluminio, las cuales aportarán las barreras contra luz y oxígeno. El acomodo de las materias primas se hace según el turno que ocuparán en el proceso de producción.

El primer paso de la laminación es ingresar el papel a la máquina, ahí una llama lo prepara calentándolo un poco para lograr una mejor adhesión con el polietileno (PE). Por otro lado el PE ingresa en forma de pellets<sup>9</sup> a través de tolvas, se calienta a 360°C, temperatura suficiente para derretirlo, y cae en forma de película sobre el papel; la adhesión con el papel se da por presión y choque térmico, después se agrega la delgada capa de aluminio empalmando los rollos y adhiriendo los materiales con presión, por último se agregan las dos últimas capas de PE. Una vez concluido el proceso de fabricación de las bobinas del material laminado, éste debe ser cortado en rollos más pequeños que tengan el tamaño ideal para hacer envases individuales, el rollo pasa por cuchillas circulares que no dejan de girar y van haciendo el corte; una vez que se termina de realizar el corte, los rollos individuales pasan a la zona de etiquetado, donde son embalados y se les asigna un código de barras específico, el cual sirve para acomodarlos en la tarima indicada dependiendo del destino de la planta de llenado, el acomodo es realizado por robots. El embalaje de los rollos se hace con una película plástica protectora que los mantiene limpios y protegidos del ambiente; posteriormente los rollos son almacenados para después ser distribuidos a las distintas fábricas en los diferentes estados o países.

---

<sup>9</sup> Pellets: denominación genérica para referirse a pequeñas porciones de material comprimido o aglomerado.

En México existe solo una planta de Tetra Pak, ubicada en el estado de Querétaro, la cual distribuye a todo México, parte Estados Unidos y Centro América; tiene una capacidad de planta para laminar 6,700 millones de envases al año.

En el diagrama 1 se ejemplifica el ciclo del proceso de impresión y laminación del papel utilizado para elaborar envases multicapa.

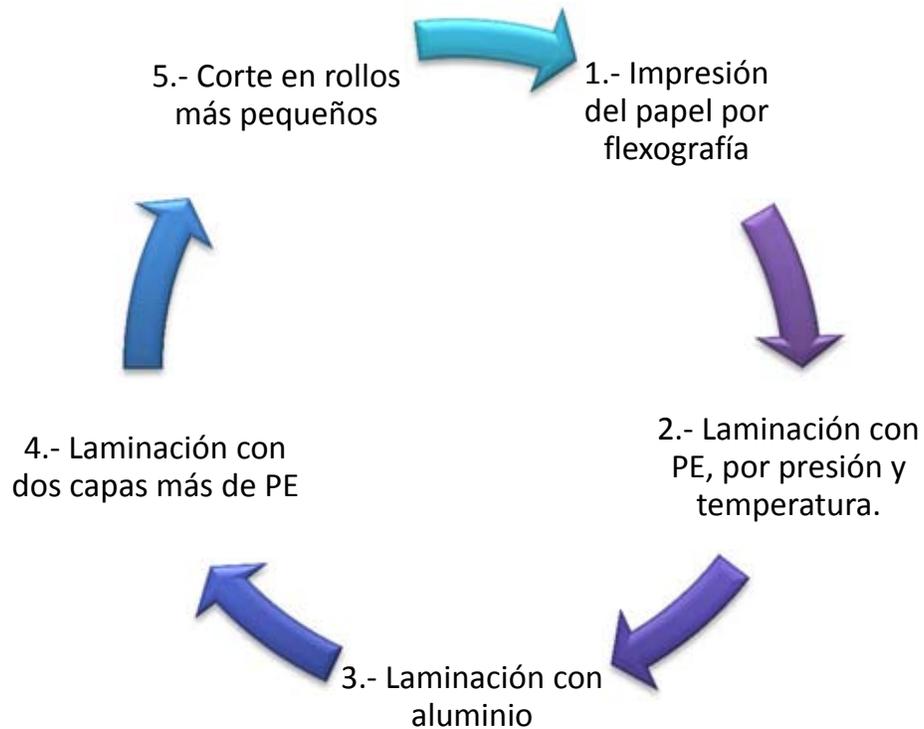


Diagrama 1. Proceso de impresión y laminación para elaborar envases multicapa, elaboración propia.

### 1.3 Materiales para envase

Existen muchos materiales que pueden usarse como envase, mismos que presentan distintas ventajas o desventajas según el producto que se pretenda proteger. En la tabla 1, se califican las características de los materiales más comúnmente utilizados como envases.

Material	Resistencia a la compresión	Resistencia al estallido	Fragilidad	Barrera contra la humedad	Barrera contra gases
<b>VIDRIO</b>					
Botellas	Excelente	Excelente	Regular	Excelente	Excelente
<b>METAL</b>					
Latas	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Tubos	Buena	Buena	Buena	Excelente	Excelente
Hojas	Muy mala	Buena	Mala	Excelente	Excelente
<b>PAPEL</b>					
Sacos	Muy mala	Regular	Mala	Regular	Mala
Cajas	Excelente	Excelente	Mala	Regular	Mala
Tubos	Buena	Excelente	Buena	Regular	Mala
<b>PLÁSTICOS</b>					
Flexibles	Muy mala	Buena	Mala	Excelente	Buena
Rígidos	Buena	Buena	Buena	Excelente	Buena
Espumas	Muy mala	Muy mala	Mala	Buena	Mala
<b>MADERA</b>					
Cajas	Excelente	Excelente	Mala	Mala	Muy mala

Tabla 1. Comparación de las propiedades de los materiales para envase y embalaje.

Los envases de vidrio tienen alta resistencia a la compresión y poca resistencia al impacto. Generalmente se destina su uso para envasar alimentos, bebidas alcohólicas y no alcohólicas, perfumes, farmacéuticos y productos químicos.

Los envases metálicos más utilizados son de hojalata y aluminio principalmente. Los de hojalata se utilizan para el envasado de alimentos procesados o en conserva, pinturas, lacas, aceites lubricantes y aditivos automotrices; los de aluminio se utilizan para el envasado de bebidas como refrescos,

cervezas y jugos; también existen hechos a base de estaño y aluminio, estos se utilizan principalmente para contener productos pastosos, como pasta dental, cremas o pomadas, por mencionar algunos.

Los tipos de envase de papel más comunes son las bolsas y los sacos que se utilizan para la distribución de productos, su principal característica es que son contenedores flexibles que también pueden ser manufacturados en combinación con otros materiales flexibles. Su uso más común es para envasar: mantequillas, carnes, quesos, artículos frágiles, alimentos para repostería, cereales secos, cemento, etc. Por otro lado el cartón es más resistente y provee seguridad y estabilidad a los productos a lo largo de la cadena de distribución. La aplicación más común de los envases de cartón es como estuches/contenedores para diversas industrias, por ejemplo: cosmética, productos farmacéuticos, productos textiles y alimentación seca, por ejemplo galletas; en este caso ya se deben considerar como embalajes que a su vez es envase secundario, recordando la definición del BANCOMEXT.

Los envases de plástico han tenido un crecimiento acelerado, esto se debe a su ligereza, funcionalidad y precios accesibles, a sus propiedades de resistencia, barrera y sellado. Existen siete categorías para clasificar los plásticos, esto facilita el reciclado pues las características físicas y químicas entre ellos son diferentes. Los usos más comunes son para envasar productos alimenticios como bebidas y salsas, algunos productos cosméticos como cremas corporales y *shampoo*, medicamentos, juguetes, pilas y dulces, por mencionar algunos.

La madera es más comúnmente utilizada como material para embalaje o envase secundario; los embalajes de madera dan seguridad en la transportación y son fáciles de construir. Actualmente el uso de estos productos ha disminuido considerablemente por la situación forestal, los requisitos sanitarios y el uso de materiales alternativos como el cartón y el plástico.

#### **1.4 Envase Multicapa**

Los envases multicapa son el resultado de la evolución tecnológica que ha tenido lugar en los últimos 50 años; son envases compuestos por varias capas alternadas de diferentes materiales, entre los que están: cartón, aluminio y polietileno de baja densidad.

La función principal de los envases multicapa es conservar y proteger los alimentos del ambiente, de la luz y de los microorganismos. Las características principales de los envases multicapa versus

los envases tradicionales son: ligereza, manejabilidad, facilidad de transportación, no requieren cadena de frío hasta una vez abiertos y se abren y cierran varias veces.

La imagen 2 muestra la composición y el orden de las capas en los envases multicapa.



Imagen 2. Composición de envase multicapa, cempre.org

#### a) Polietileno (PE)

El polietileno es un polímero simple, se obtiene a partir de la polimerización del etileno ( $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ ), se lleva a cabo por la apertura del doble enlace, mediante un mecanismo de reacción en cadena por efecto de temperatura y presión, también con ayuda de catalizadores como el trietilaluminio. La presión durante la polimerización determinará si el PE será de baja o de alta densidad.

PE es el material que más capas tiene dentro del envase multicapa, con un porcentaje alrededor del 21%, su aportación al envase es proveer impermeabilidad, adherencia con las demás capas y garantizar la protección del producto. En la imagen 2 el PE ocupa la posición número uno, ahí su función es proteger contra el exterior, en la posición tres y cinco funciona como capa adhesiva y en la posición seis tiene como función proteger las propiedades organolépticas del producto.

Estas capas se obtienen a través de la extrusión de pellets como se explica en la parte de producción.

El PE es un recurso no renovable que se puede optimizar dentro del envase, tiene un alto porcentaje de reciclabilidad al ser un termoplástico, pero sólo se puede reciclar de 5 a 7 veces pues de lo contrario comienza a perder sus propiedades. En México se recicla alrededor del 4% del plástico, de acuerdo con datos de la SEMARNAT para 2015.

## **b) Cartón**

El cartón es un material formado por varias capas de papel superpuestas, a base de fibra virgen que se obtiene de la celulosa de los árboles. Los troncos se rompen en pequeños pedazos, tan pequeños que son del tamaño de astillas conocidas como chips y se colocan dentro de una bomba trituradora que es un tanque de alta presión que disuelve lignina, la cual une las fibras de madera y deja únicamente la materia celulósica. Las fibras se limpian, se refinan y posteriormente se envían a través de una máquina utilizada para fabricar el papel, ahí se podrán agregar aditivos que mejorarán la calidad del papel.

El cartón implica alrededor del 74% del envase, provee fuerza, estructura y una apariencia higiénica, además es una buena superficie para imprimir.

La construcción es básica: cartón multicapa hecho de fibras vírgenes, esto para asegurar cero olores y neutralidad de mancha, es decir, que el cartón no presente ningún tipo de mancha o coloración. La capa exterior siempre estará hecha de pulpa blanqueada, con la finalidad de obtener una buena calidad en la impresión.

El cartón utilizado es un recurso natural renovable, con altos porcentajes de reciclabilidad, en México se acopian y reciclan alrededor de 3.2 millones de toneladas, lo cual representa un 14% de los residuos según datos de la SEMARNAT. Cabe mencionar que el papel utilizado en los envases multicapa no proviene de bosques mexicanos pues no están certificados con FSC (Consejo de Administración Forestal por sus siglas en inglés).

En la ilustración 2 el cartón ocupa la segunda posición, su función es ser la superficie de impresión, además de brindar rigidez y estructura al envase.

### **c) Aluminio**

El aluminio es un elemento químico, se trata de un metal no ferromagnético y es el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre. Se extrae del mineral conocido como bauxita por transformaciones primero en alúmina y después en aluminio metálico mediante electrólisis.

Dentro del envase multicapa, el aluminio ha probado ser un muy buen material de barrera porque bloquea el paso de la luz, el oxígeno y el vapor, también brinda una excelente protección a los sabores y es resistente a los aceites y grasas; representa el 4% del total del envase.

Puede ser laminado de cualquier lado del cartón, cuando es por parte de afuera del cartón da un terminado metálico. En la gran mayoría de los casos, el aluminio es utilizado solamente como protección para las propiedades del líquido, entonces se agregará una capa extra de PEBD<sup>10</sup>.

El calibre del aluminio es 6.5µm, es decir, es 100 veces más delgado que un cabello humano. Al ser tan delgado se optimiza el uso de este preciado recurso natural, pero su producción consume mucha energía eléctrica, aunque este alto costo se neutraliza pues es un elemento 100% reciclable, con una extensa vida útil y con un precio muy estable en general.

## **1.5 Historia y evolución de los envases multicapa**

El uso del papel<sup>11</sup> como material para envase se aceleró durante la última parte del siglo XIX para poder cubrir las necesidades de la industria manufacturera. A partir de entonces, la manufactura del papel ha progresado desde laboriosas operaciones manuales —una hoja a la vez— hasta un proceso continuo de gran velocidad con pulpa de madera como principal materia prima en sustitución a los trozos de tela.

---

<sup>10</sup> PEBD: Polietileno de baja densidad.

<sup>11</sup> 40% de la producción total de papel es utilizada para envases.

Existen diferentes tipos de papel y cartón. La apariencia y la resistencia varían de acuerdo al tipo y cantidad de fibra utilizada, a la manera en que las fibras son procesadas durante la separación de fibras (*pulping*<sup>12</sup>), al tratamiento que se les da y a la forma como se manufactura el papel.

El papel también es caracterizado por su peso/unidad de área y por su espesor. El peso por unidad de área recibe el nombre de “gramaje” ya que es medido en gramos por metro cuadrado (g/m<sup>2</sup>); otro término para la relación peso/área es “peso de la base” y “substancia” los cuales están basados en el peso en libras de un cierto número de hojas de ciertas dimensiones, también conocido como “resma”. El espesor es descrito como “calibre” y es medido en micras. La apariencia es caracterizada por el color y por la superficie.

En 1900 nace el concepto del papel como material de envase, cuando se buscaba un contenedor a prueba de fugas que compitiera con los contenedores de vidrio y metal comúnmente utilizados en esa época pero más ligero e igual de resistente. Lo primero que se buscó fue un contenedor que replazara el sistema tradicional de distribución de leche.

Fue hasta 1915 cuando la primera patente de EUA fue concedida a John Van Wormer en Ohio, por su “botella de papel” la cual recibió el nombre de Pure-Pak. La botella de papel consistía en una caja de cartón plegada que sería suministrada a las industrias para el envasado de leche. Este primer concepto ofrece varias ventajas importantes que todavía se aplican hoy en día, por ejemplo: ahorro en el suministro, en el almacenamiento y en peso.

La compañía Akerlund & Rausing se había formado en 1929 para manufacturar envases de consumo, ésta se desarrolló durante la Segunda Guerra Mundial. Su envase de papel consistía en un contenedor cilíndrico de cartón recubierto de cera, éste fue producido durante el tiempo en el que había poco suministro de vidrio y hojalata.

Para 1930 en EUA se habían establecido varias alternativas, alrededor de 10 compañías habían implementado un envase a base de papel para almacenar leche, pero se necesitaba un cartón a prueba de fugas que pudiera ser capaz de almacenar líquidos, la solución fue sumergirlo en parafina fundida, ahora sí el recipiente podía ser llenado y sellado con calor, presión o grapas.

Por otro lado, después de 1930, Jagenberg en Alemania había introducido “Perga” un envase encerado, que tenía una base circular con cuello cuadrado; Perga se desarrolló muy rápidamente,

---

<sup>12</sup> *Pulping*: Procedimiento para separar las fibras de celulosa por medio de procesos químicos y calor, sin quebrar las fibras de madera.

tanto que para 1939 existían 26 fábricas distribuidas en 8 países distintos, incluyendo: Alemania, Inglaterra, Suecia, EUA, Canadá y Australia.

Mientras tanto, hacia el año de 1943 en Suecia se desarrollaba un enfoque distinto; después del contenedor cilíndrico recubierto de cera, la compañía de Akerlund & Rausing desarrolló un envase el cual se formaría desde un carrete, cortando y sellando el papel en forma de tubo, siendo este a prueba de humedad, alternando dobleces en ángulo recto por debajo del nivel del líquido. Así fue como en 1944 se produjo un envase con forma de tetraedro (imagen 3) cuya patente se aplicó en Suecia bajo el nombre de R. Rausing. A pesar de este logro los envases no tuvieron un buen comienzo, R. Rausing no estaba contento con el resultado de este envase geométrico.



**Imagen 3. Envase con forma de tetraedro, Tetra Pak.**

En 1950 Tetra Pak fue registrada y en 1951 la empresa subsidiaria de Akerlund & Rausing, AB Tetra Pak fue formada.

El uso del PE como material de empaque se dio entre 1954 y 1955, cuando DuPont con una licencia para manufacturar PE fomentó a la firma Frank W. Egan a desarrollar una máquina de recubrimiento por extrusión. Así fue como 1956 Tetra Pak comenzó a utilizar cartón laminado con PE.

Jagenberg, en Alemania en 1958, fundó Pack-und Kunststoffwerke Linnich (PKL) e introdujo un envase llamado Blocpac.

Fue en 1959 cuando el envase con forma de ladrillo “brick-shaped” fue introducido por Zupack, mientras otras dos empresas desarrollaban un envase muy similar con forma de paralelepípedo, similar al que se observa en la imagen 4; innovación que motivó a Tetra Pak a desarrollar un

envase con la misma forma, el cual fue alcanzado en 1963. La principal ventaja de este envase es la facilidad con la que se aprovechan los espacios de almacenamiento facilitando la distribución.



**Imagen 4. Envase con forma de paralelepípedo, Tetra Pak**

Para el año de 1965, Tetra Pak se hace una compañía independiente bajo la propiedad de R. Rausing y 17 años después, en 1982 Tetra Pak compra Zupack.

Junto con el desarrollo de maquinaria, materiales y formas de empaque surgió la idea de un envase aséptico<sup>13</sup>, el cual traería mayores beneficios para envasar leche. El envasado aséptico requiere de la esterilización por separado tanto del envase como del producto, para poder ser llevados en un ambiente donde no haya lugar para los microorganismos en el producto y el envase pueda ser sellado herméticamente.

En 1989 PKL es adquirida por la compañía SIG, abriendo el mercado del envasado de productos líquidos como leche, jugos, sopas y salsas, sentando con ello las bases para lo que es hoy SIG Combibloc. También en ese año, el “Institute of Food Technology” en Chicago clasificó al proceso aséptico como una de las más importantes innovaciones en alimentos en los últimos 50 años.

Para 1996, el envase aséptico recibió el premio Presidencial de EUA por Desarrollo Sustentable, siendo el primer envase en recibir un premio ambiental

---

<sup>13</sup> Proceso aséptico: Proceso en el que se somete al alimento a altas temperaturas, entre 130-150°C por un breve periodo de tiempo, alrededor de 2-3 segundos y después se enfría rápidamente para eliminar bacterias sin alterar nutrientes ni sabor original. Producto estéril en envase estéril.

Hoy en día existen dos compañías líderes en el envasado de líquidos con papel aséptico y no aséptico, Tetra Pak (con cartones Pure Pak) y SIG con Combibloc.

Tetra Pak es la compañía líder en el mundo, con una cobertura de mercado del 80%, dejándole a SIG Combibloc el 20% restante.

El mercado se ha expandido de forma significativa desde los años 60's; inicialmente sólo se envasaba leche y crema en envases a base de cartón, posteriormente el jugo, y, a partir de los años 80's también se incluyeron: sopas, salsas, aceite de cocina, etc. Hoy en día la mayor área de aplicación, en términos de volumen, es el envasado de productos de consumo diario como leche y crema, utilizando procesos tanto asépticos como no-asépticos, este último requiere de refrigeración. Las aplicaciones han sido extendidas a otras áreas, por ejemplo suavizantes de telas y detergentes.

El rango de tamaños de envase es muy amplio, desde Tetra Classics de 12-65 ml, hasta los populares empaques de sección cuadrada de 200ml, hay aún más grandes, de 4 y 5 l.

Los envases Pak se han expandido hacia otras formas, i.e. diseños hexagonales, *pouch*<sup>14</sup> y multifacéticos.

La gama de productos y los requisitos de vida útil han ampliado los tipos de materiales de embalaje para incluir el papel de aluminio de alta barrera y plásticos de un sólo ión (éstos proveen de un fácil termosellado y excelente adherencia a la lámina de aluminio).

Una característica importante en el desarrollo de estos envases en los últimos años ha sido la atención prestada por los fabricantes para abrir, verter, volver a cerrar y manipular el envase.

---

<sup>14</sup> *Pouch*: Bolsa.

## **Capítulo 2º. Normatividad nacional, internacional y situación actual de los envases multicapa**

Este capítulo tiene como finalidad enunciar la legislación vigente nacional e internacional relacionada con el manejo y aprovechamiento de los envases multicapa en su etapa de post-consumo. También busca explicar el ciclo de vida de los envases multicapa, así como las entradas y salidas de materia y energía durante su vida.

### **2.1 Normatividad Nacional para Residuos Sólidos**

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en el artículo 27º constitucional establece que el país tiene el derecho de controlar el desarrollo para proteger los recursos naturales. En el artículo 115º, fracción III, inciso c), se indica de manera general que el gobierno federal, estatal y municipal deberán establecer sus legislaciones de acuerdo a la jurisdicción, defendiendo su competencia con el propósito de manejar, eliminar y transportar los residuos, además buscar alternativas de solución para los mismos con los medios locales existentes.

En la constitución *per-se* no existe un apartado especial para los envases pero sí para los residuos por lo que éstos al ser residuos sólidos al final de su vida útil, deberían recibir un tratamiento para aprovecharlos y minimizar disposición final.

#### **2.1.1 Programa Nacional de Desarrollo 2013-2018**

El Plan Nacional de Desarrollo es un documento que establece el presupuesto de toda la Administración Pública Federal y traza los grandes objetivos de las políticas públicas así como las acciones específicas para alcanzar dichos objetivos, los cuales son: México en Paz, México Incluyente, México con Educación de Calidad, México Próspero y México con Responsabilidad Global.

Como parte del cuarto eje - “México Próspero” - se encuentra el desarrollo sustentable.

Durante la última década se han intensificado los efectos del cambio climático y la degradación ambiental, los desastres naturales han causado miles de muertes, millones de afectados y grandes

pérdidas económicas. El mundo comienza a reducir la dependencia que tiene en los combustibles fósiles con el impulso de energías alternativas y nuevas tecnologías, además la sociedad está cada vez más interesada e involucrada en temas ambientales, reconoce que la conservación del capital natural es clave para desarrollo de los países y el bienestar de la población.

Para mitigar los efectos dañinos del cambio climático, México participa en más de 90 acuerdos y protocolos vigentes, está comprometido con la agenda internacional de medio ambiente y cambio climático. El pasado mes de abril, México fue de los primeros 55 países en ratificar el acuerdo París, en el cual 196 países se comprometen a trabajar para evitar que la temperatura del planeta se eleve 2 grados centígrados. El compromiso de México para el año 2030, es reducir en 50% nuestras emisiones de contaminantes respecto a las generadas en el año 2000.

La estrategia enfocada a esta tesis, es lograr un manejo integral de residuos sólidos, que incluya el aprovechamiento de los materiales que resulten y minimicen los riesgos a la población y al ambiente.

### 2.1.2 Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)

Es el principal estatuto ambiental, contiene los elementos clave de las políticas ambientales en México. Establece la utilización de recursos naturales sin el deterioro ambiental, la armonización del desarrollo económico, actividades sociales y la conservación ecológica, así como un mecanismo para facilitar la cooperación y coordinación entre los organismos administrativos del sector social, privado y del público en general (LGEEPA, 2001).

Aun cuando la LGEEPA no plantea obligaciones para los generadores de residuos sólidos, dado que estos son competencia de estados y municipios, sí faculta a la autoridad federal para que establezca reglas y técnicas para el almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos; así mismo faculta al gobierno federal a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, para expedir las Normas Oficiales Mexicanas en las diferentes materias que estructuran el servicio público de limpia (SEMARNAT,2001).

Destacan en el ordenamiento en acta, tratándose de envases en su fase post-consumo los siguientes artículos:

Artículo 137: Queda sujeto a la autorización de los municipios y/o del Distrito Federal, conforme a sus leyes locales en la materia y a las NOM's que resulten aplicables, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reutilización, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales.

Artículo 138: La SEMARNAT promoverá la celebración de acuerdos de coordinación y asesoría con los gobiernos estatales y municipales para la implantación y mejoramiento de sistemas de recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales; también la identificación de alternativas de reutilización y disposición final de residuos sólidos municipales, incluyendo la elaboración de inventarios de los mismo y sus fuentes generadoras.

Artículo 140: Indica que la generación, manejo y disposición final de los residuos de lenta degradación deberá sujetarse a lo que se establezca en las NOM's que SEMARNAT expida al respecto, en coordinación con la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

Artículo 141: La SEMARNAT, en coordinación con las Secretarías de Comercio y Fomento Industrial más la Secretaría de Salud, expedirán Normas Oficiales Mexicanas para la fabricación y utilización de empaques y envases para todo tipo de productos, cuyos materiales permitan reducir la generación de residuos sólidos.

Artículo 158: en sus fracciones V y VI, establecen que se deberá impulsar el fortalecimiento de la conciencia ecológica a través de la realización de acciones conjuntas con la comunidad para la preservación y mejoramiento del ambiente, el aprovechamiento racional de los recursos naturales y el correcto manejo de los desechos. Para ello, la SEMARNAT junto con estados y municipios podrá celebrar convenios de concentración con comunidades urbanas y rurales, así como con diversas organizaciones sociales, y concentrará acciones con los distintos sectores: social, privado, instituciones académicas, organizaciones sociales, etc., para la preservación y restauración del equilibrio ecológico, y la protección al ambiente (LGEEPA, 2001)

### 2.1.3 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de México, entró en vigor en 2004, es de carácter obligatorio en todo el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen

por objeto prevenir la generación, propiciar el aprovechamiento y la gestión integral de los residuos sólidos urbanos (para instrumentos como la LGEEPA, residuos sólidos municipales).

Esta ley reconoce que la gestión de los residuos se sustenta en un diagnóstico básico de la situación de los residuos generados y capacidades disponibles para su manejo, para lo cual es fundamental contar con una base de datos en la que se asienten con orden y clasificación los volúmenes de generación de los diferentes residuos que se integra a partir de la información proporcionada por los generadores.

Aunado a que la generación y el tipo de residuos en la medida en que los procesos de industrialización, de apertura comercial y de consumo se han modificado, incidiendo directamente en la cantidad y composición de los residuos sólidos.

Esta ley -LGPGIR- fomenta la prevención en la generación de residuos, el aprovechamiento de su valor y el desarrollo de sistemas de gestión integral de los mismos; define las responsabilidades de los productores, importadores, comerciantes, consumidores y prestadores de servicios de manejo de residuos. Busca la reutilización y reciclado de los residuos, así como el desarrollo de mercados para la comercialización de los materiales.

#### 2.1.4 Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal

Esta ley se aplica solamente en el Distrito Federal, ahora Ciudad de México, fue publicada en el 2003; sus disposiciones son orden público e interés social. Tiene por objeto regular la gestión integral de los residuos sólidos no peligrosos, así como la prestación del servicio público de limpia.

Establece que para 2004 se debían separar los residuos, realizar la recolección selectiva y la instrumentación de planes de manejo; además que enmarca obligaciones a la ciudadanía, separar los residuos sólidos en orgánicos e inorgánicos dentro de su domicilio, empresas, establecimientos mercantiles, industriales y de servicios, instituciones educativas y gubernamentales; así como depositarlos en contenedores separados para su mejor recolección, acopio y aprovechamiento (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2003).

Los artículos relacionados con los envases son:

Artículo 11, fracción XIII: establece la importancia de promover sistemas de reutilización, depósito, retorno u otros similares que reduzcan la generación de residuos, en el caso de productos o envases

que después de ser utilizados genere residuos en alto volumen u originen impactos ambientales significativos.

Artículo 23, fracción I: señala la necesidad de instrumentar planes de manejo de los residuos sólidos en sus procesos de producción, prestación de servicios o en la utilización de envases y embalajes así como su fabricación o diseño, comercialización o utilización que contribuyan a la minimización de los residuos sólidos y promuevan la reducción de la generación de la fuente, su valorización o disposición final que ocasionen el menor impacto ambiental posible.

Artículo 23, fracción III: menciona la importancia del reciclaje con la siguiente oración “el privilegiar el uso de envases y embalajes que una vez utilizados sean susceptibles de valorización mediante procesos de uso y reciclaje”.

Artículo 55: los productores y comercializadores cuyos productos generen residuos sólidos susceptibles de valorización mediante procesos de reutilización o reciclaje, realizarán planes de manejo que establezcan las acciones para minimizar la generación de sus residuos sólidos, para su manejo responsable y para orientar a los consumidores sobre las oportunidades y beneficios de dicha valorización para su aprovechamiento.

### 2.1.5 Iniciativa de Ley Federal de Envases y Embalajes

Esta iniciativa de ley está propuesta por el grupo parlamentario del Partido Verde Ecologista de México, fue presentada el 9 de noviembre de 1999. Tiene por objeto establecer los lineamientos sobre la disposición de envases y residuos, con la finalidad de mitigar sus efectos sobre el ambiente.

Incluye dentro de su ámbito de aplicación a todos los envases, y por ende a los envases multicapa, jerarquiza las diferentes opciones de disposición final de residuos, considerando como prioritarias las medidas que tiendan a evitar su generación, seguidas de aquellas que fomenten su reutilización, reciclado o valorización para evitar o disminuir su disposición final. Así mismo fija objetivos de reciclaje y valorización que deberán cumplirse en todos los sectores sociales y económicos, con el fin de dirigirlos a las alternativas de disposición fina más adecuadas ([www.cddhcu.gob.mx](http://www.cddhcu.gob.mx)).

Esta iniciativa es la única en México enfocada al manejo de envases y embalajes.

En el actual rito de vida urbano e industrial, la generación de residuos es prácticamente inevitable, por lo que la sustentabilidad debe estar enfocada al manejo de residuos sólidos; cambiar la visión tradicional por una visión moderna que esté alineada con la prevención y gestión integral de los residuos, así como también dejar de ver a los residuos como desechos y comenzar a reincorporarlos a la cadena productiva del país. Es importante mencionar que la sustentabilidad está enfocada hacia tres ejes: económico, ambiental y social.

La prevención y gestión integral de los residuos sólidos permite la reincorporación de los materiales valorizables contenidos en ellos, para que esto suceda de forma correcta, deberá ser a través de un conjunto de acciones de los siguientes tipos: normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo y supervisión, las cuales están comprendidas en las etapas del ciclo de los residuos cuya valorización no sea ni técnica ni económicamente factible.

Algunas de las acciones puntuales que México puede implementar para seguir avanzando en la prevención y gestión integral de los residuos son, por ejemplo: implementación de un sistema más robusto de separación de residuos, creación de mercados de reciclaje y utilización de diversos residuos, campañas de concientización, entre otros.

#### 2.1.6 Artículo 19°, LGPGIR

VIII. Residuos tecnológicos provenientes de las industrias de la informática, fabricantes de productos electrónicos o de vehículos automotores y otros que al transcurrir su vida útil, por sus características, requieran de un manejo específico.

X. Otros que determine, la Secretaría de común acuerdo con las entidades federativas y municipios, que así lo convenga para facilitar su gestión integral.

#### 2.1.7 Artículo 28°, LGPGIR

Estarán obligados a la formulación y ejecución de los planes de manejo:

III. Los grandes generadores y los productores, importadores, exportadores y distribuidores de los productos que al desecharse se convierten en residuos sólidos urbanos o de manejo especial que se

incluyan en los listados de residuos sujetos a planes de manejo de conformidad con las normas oficiales mexicanas correspondientes; los residuos de envases plásticos, incluyendo los de PS expandido; así como los importadores y distribuidores de neumáticos usados, bajo los principios de valorización y responsabilidad compartida.

IV. Los grandes generadores y los productores, importadores, exportadores y distribuidores de pilas y baterías eléctricas que sean considerados como residuos de manejo especial en la norma oficial mexicana correspondiente.

#### 2.1.8 NOM-161-SEMARNAT 2011

Esta norma establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar si están sujetos al Plan de Manejo, también busca controlar y reducir las problemáticas relacionadas con la disposición final de los RME<sup>15</sup>.

Los RME son aquellos que se generan de los procesos industriales, actividades comerciales y de servicios, como subproductos no deseados o productos fuera de especificación. Adicional a este tipo de residuos, se incorporan los residuos derivados del consumo, operación y mantenimiento de las demás áreas que forman parte de las instalaciones industriales, comerciales y de servicios, como oficinas, comedores, sanitarios y mantenimiento; estos residuos por sus características se consideran como rsu, pero sus volúmenes de generación mayores a las 10 toneladas anuales los convierten en Residuos de Manejo Especial. (LGPGIR, 2013)

A continuación se presenta el listado de los RME sujetos a presentar Plan de Manejo:

I.- Residuos de servicios de salud, generados en centros médico-asistenciales:

- Papel y cartón
- Ropa Clínica, ropa de cama, colchones
- Plásticos
- Madera
- Vidrio

---

<sup>15</sup> RME: Residuos de manejo especial.

II.- Residuos agro-plásticos generados por las actividades intensivas agrícolas, silvícolas y forestales.

III.- Residuos orgánicos de las actividades intensivas agrícolas, avícolas, ganaderas y pesqueras.

IV.- Residuos de las actividades de transporte federal, incluye los servicios en: puertos, aeropuertos, centrales camioneras y estaciones de autotransporte y transporte público. Incluye a los prestadores de servicio que cuenten con terminales, talleres o estaciones y generen más de 10 toneladas anuales.

- Envases metálicos
- Envases y embalajes de papel y cartón
- Envases de vidrio
- Envases de PET
- Envases de unicel (poliestireno expandido)
- Bolsas de polietileno
- Tarimas de madera
- Neumáticos de desecho

V.-Lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, a excepción de los indicados en la NOM-052-SEMARNAT-2005.

Aquellos que se generen por un gran generador en una cantidad mayor a 100 t anuales o su equivalente.

VI.- Residuos de tiendas departamentales o centros comerciales, incluyendo tiendas de autoservicio, centrales de abasto, mercados públicos y ambulantes.

- Envases metálicos
- Envases y embalajes de papel y cartón
- Envases de vidrio
- Envases de PET
- Envases de unicel (poliestireno expandido)

VII.- Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general, que se generen en una obra en una cantidad mayor a 80 m<sup>3</sup>.

VII.- Productos que al transcurrir su vida útil se desechan:

- Residuos tecnológicos de las industrias de la informática y fabricantes de productos electrónicos
- Computadoras personales y portátiles de escritorio y sus accesorios
- Teléfonos celulares
- Monitores con tubos de rayos catódicos (incluyendo televisores)
- Pantallas de cristal líquido y plasma (incluyendo televisores)
- Reproductores de audio y video portátiles
- Cables para equipos electrónicos
- Impresoras, fotocopadoras y multifuncionales
- Residuos de fabricantes de vehículos automotores.
- Vehículos al final de su vida útil
- Otros que al transcurrir su vida útil requieren de un manejo específico y que sean generados por un gran generador en una cantidad mayor a las 10 t anuales:
  - Aceite vegetal usado
  - Neumáticos de desecho
  - Envases y embalajes de PET, PEAD, PEBD, PVC, PP, PS y PC
  - Artículos publicitarios en vía pública de PET, PEAD, PEBD, PVC, PP, PS y PC
  - Artículos de promoción de campañas políticas en vía pública de PET, PEAD, PEBD, PVC, PP, PS y PC
  - Envases, embalajes y artículos de madera
  - Envases, embalajes y perfiles de aluminio
  - Envases, embalajes y perfiles de metal ferroso
  - Envases, embalajes y perfiles de metal no ferroso
  - Papel y cartón
  - Vidrio
  - Ropa, recorte y trapo de algodón
  - Ropa, recorte y trapo de fibras sintéticas
  - Hule natural y sintético
  - Envases multilaminados con varios materiales
  - Refrigeradores
  - Aire acondicionado
  - Lavadoras
  - Secadoras

- Hornos de microondas

### 2.1.9 Cámara del Papel

Hoy en día, la industria del papel cumple la función de reciclar los residuos de papel y cartón en México, el 87% de su materia prima fibrosa para fabricar nuevo papel es material recuperado y reciclado. Una gran parte de estos materiales valorizables post-comerciales y post-consumo son acopiados y reciclados por una extensa red de infraestructura industrial, creada y desarrollada principalmente por las empresas afiliadas a la Cámara del Papel.

Se han implementado cuatro elementos principales para su manejo:

- a) El papel y cartón son residuos con alto valor económico. La industria nacional ha invertido aproximadamente mil millones de dólares para desarrollar un mercado de fibras secundarias (es decir, las fibras recuperadas), pasando de recuperar 355,000 toneladas en el año 1970 a 3.2 millones toneladas en 2010, es por esto que podemos afirmar que en México existe una demanda asegurada para este material.
- b) Existe una importante infraestructura para el reciclado, ésta consta de 58 molinos de papel en 20 estados a lo largo de la República Mexicana, los molinos tienen la capacidad suficiente para producir más de 5 millones de toneladas de papel y cartón, dando 64,000 empleos directos y 235,000 empleos indirectos.
- c) Los beneficios ambientales que se obtiene con el reciclado de papel y cartón son sumamente importantes, por cada tonelada reciclada se ahorran 2.5 m<sup>3</sup> de volumen en rellenos sanitarios y se capturan más de tres toneladas de gases efecto invernadero al evitar la descomposición del papel y cartón.
- d) Cada tonelada de fibra secundaria reciclada en México, es valorizada al menos siete veces y se integra a la derrama económica y fiscal del país.

En febrero de 2011, la Cámara del Papel y la SEMARNAT firmaron un Convenio de Concertación para el establecimiento de la Estrategia de Fomento de Aprovechamientos Forestales, así como la Promoción de la Producción y Consumo Sustentable de la Producción de Papel y Cartón, en los que se destacó una de las directrices del Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, esto fue la creación de las condiciones para un desarrollo sustentable que asegure la calidad del ambiente y la

disponibilidad de los recursos naturales en el largo plazo sobre la base de una sólida cultura a favor del ambiente. Dicho convenio pone a México en 5° lugar como país reciclador a nivel mundial.

#### 2.1.10 Plan de manejo para los residuos de papel y cartón en México

La LGPGIR establece el derecho a un medio ambiente adecuado y desarrollo sustentable para todos; la sustentabilidad en el contexto de la prevención y gestión integral de los residuos sólidos está enfocado a que el desarrollo de actividades y procesos sean amigables con el ambiente, buscando al minimización de riesgos e impactos sobre los ecosistemas y maximizando el aprovechamiento de los materiales valorizables contenidos en los residuos, con la finalidad de preservar recursos naturales pero sin restringir el desarrollo económico del país.

La generación de residuos es inevitable por lo que hoy en día la sustentabilidad está enfocada a cambiar la visión tradicional del manejo de los residuos sólidos con un enfoque moderno alineado con la prevención y la gestión integral, en la que los residuos no sean vistos como tal, sino como materiales susceptibles de reincorporación a las cadenas productivas del país.

La Cámara, para satisfacer su necesidad de materia prima, ha impulsado el desarrollo de una infraestructura nacional para el acopio y manejo de residuos de cartón y papel, sin embargo aún hay oportunidad de crecimiento, para esto se elaboró un diagnóstico del manejo de fibras, identificando las áreas de oportunidad así como la formulación de un plan de manejo para incrementar los porcentajes de acopio de residuos de papel y cartón.

Las formas de manejo de los residuos de papel y cartón propuestas por la Cámara están enunciadas como estrategias que al ser aplicadas de manera integral, permitirán incrementar el volumen de acopio y su calidad, estas estrategias son:

- Recuperación de materiales específicos: incrementar el acopio de materiales con alto potencial de recuperación y con problemáticas específicas en su ciclo de vida, buscando eliminar obstáculos en su cadena de gestión.
- Facilitación de mercados: simplificar la valorización de materiales y fomentar su incorporación al ciclo productivo nacional mediante la modificación o aplicación de regulaciones. Las acciones a desarrollar son: prioridad al reciclaje en México, transparencia al mercado de papel y cartón (índice de referencia sobre los precios de la fibra), facturación

en compras de primera mano, implementación de Norma de Calidades de Papel y Cartón que permita identificar cada tipo de material.

- Incremento del acopio de residuos domiciliarios: incrementar el acopio de residuos domiciliarios y evitar su contaminación mediante acciones que garanticen su correcto manejo.
- Difusión y promoción: promover entre los consumidores y usuarios de los diferentes productos del papel la cultura del reciclaje, así como informarles sobre los logros y avances de la industria de la celulosa y del plan de manejo.

Los residuos de papel y cartón son una materia prima que puede ser reutilizada por la misma industria papelera. En este sentido, el objetivo final de los residuos será reciclarlos en el territorio nacional como materia prima para la fabricación de papel y cartón y cualquiera de sus productos derivados (envases, embalajes o productos finales).

## **2.2 Normatividad Internacional para Envases y Residuos**

### **2.2.1 Directiva Europea 2004/12/CE relativa a los envases y a los residuos de envases**

Los objetos principales de la directiva son el reciclado y la valorización de los envases, así como las tasas mínimas y máximas de reciclado establecidos en tiempo y forma.

Esta directiva señala que la empresa tiene la facultad de presentar propuestas de medidas destinadas a reforzar y complementar el cumplimiento de los requisitos establecidos y garantizar que sólo se comercializarán nuevos envases cuando el fabricante haya adoptado todas las medidas necesarias para reducir al mínimo su impacto ambiental sin arriesgar las funciones principales del envase. Así mismo estipula los compromisos de todos los sectores involucrados, es decir, fabricantes de materias primas, envasadores, comercio, distribución, recicladores, consumidores y administradores públicos (S/A, 2004).

Dentro de la Unión Europea, el país más exigente en cuanto a leyes y metas para reducción de envases es Alemania, donde el tratamiento de envases es obligatorio, mientras que en Holanda o Bélgica es voluntario.

En el año de 1990, Alemania implementó la “Ley Töpfer” como resultado del problema de saturación en los rellenos sanitarios, con la finalidad de evitar residuos originados por los envases y como una medida de aprovechamiento de los mismos, evitando así su disposición final. Algunos aspectos relevantes de esta ley son:

- Se aplica a todos los tipos de envase y embalaje.
- Prohíbe la venta de envases que no pueden ser reutilizados, reciclados o incinerados con recuperación de energía. El reciclaje tiene alta prioridad en el sistema de gestión.
- Obliga al comerciante detallista o de menudeo a quitar el embalaje de transporte, por ejemplo: cajas de cartón, películas plásticas, material de acolchonamiento, etc., o bien a proporcionar un depósito para que el consumidor no tenga que llevarse ese material a su hogar.
- Obliga al fabricante y al comerciante a tener contenedores apropiados para los envases que desechen los consumidores, ya sea dentro o en las inmediaciones de sus instalaciones.
- Todos los involucrados en la cadena de valor del producto representan un papel determinado e importante para el aprovechamiento de los envases.
- Todos los hogares reciben sin costo dos contenedores, uno para residuos reciclables y uno para otros residuos, los primeros son recogidos periódicamente y llevados a empresas recicladoras que garantizan la reutilización del material.

### 2.2.2 Prevención y minimización de residuos

Desde hace dos décadas, los gobiernos que conforman la OCDE, el sector privado y algunos otros involucrados, han invertido una suma considerable de recursos para reducir la cantidad de residuos y proteger al ambiente; sin embargo, la generación de éstos sigue aumentando. Para ayudar a los gobiernos con este problema, la OCDE ha investigado nuevas políticas y conceptos, desarrollándolos para poder obtener una solución a largo plazo y así incrementar la eficiencia de los recursos. La política de minimización de residuos es un buen acercamiento, que por el momento sigue siendo examinado.

El programa de minimización de residuos comenzó en 1994. Los primeros pasos fueron compilar toda la información posible de políticas existentes y herramientas disponibles para la minimización de éstos dentro de los países de la OCDE. La segunda fase del programa se enfocó en un

entendimiento común acerca de la minimización de residuos y sus componentes (estricta prevención, reducción en la fuente, reutilización, reciclaje, y en su caso, recuperación de energía). Este trabajo dio como resultado una serie de publicaciones, herramientas y políticas por parte de la OCDE.

Durante la tercer y última fase del proyecto, la OCDE enfocó de lleno sus esfuerzos en la prevención de la minimización de residuos. Los desechos son generados a través de las actividades económicas, es por esto que en esta fase del proyecto se agregó una perspectiva de flujo de recursos para el planteamiento inicial de minimización de residuos que comprenderá el diseño de políticas de prevención de residuos, la fijación de objetivos, la implementación y la evaluación.

El resultado de todo este proyecto es un manual con la estrategia de prevención de residuos, el cual busca apoyar la preservación de recursos naturales, este manual se puede consultar en su página de internet (<http://www.ocde.org/centrodemexico/temas/>).

La prevención de residuos es un elemento clave para una política de desarrollo sustentable, algunas de las estrategias que darán soporte a sustentabilidad son:

- Cambios en los patrones de producción y consumo.
- Desarrollo tecnológico que resulte en menor extracción de recursos naturales.
- Liberación de recursos financieros mediante la reducción de costos por gestión de residuos.
- Estimular la demanda del mercado de productos amigables con el ambiente a través del cumplimiento de prácticas ecológicas.
- Minimización de riesgos sanitarios y ecológicos al evitar la disposición final de residuos.
- Reducir el conflicto social asociado a la ubicación de tiraderos y sitios de incineración.
- Promover enfoques de cooperación entre las partes interesadas para cumplir los objetivos de prevención de residuos.

La prevención de residuos puede producir beneficios ambientales a través del ciclo de vida de los productos al reducir la necesidad de futuras inversiones y uso de energía para recolectar, almacenar, procesar y disponer lo que pudo haber sido residuo. Esto se traduce en una menor flota de vehículos recolectores de residuos y por consiguiente en menores emisiones de contaminantes atmosféricos correspondientes a estos vehículos, así como menor necesidad de espacio de almacenamiento, procesamiento y disposición con las emisiones al ambiente asociadas.

El beneficio ambiental y económico se puede representar con el diagrama 2:

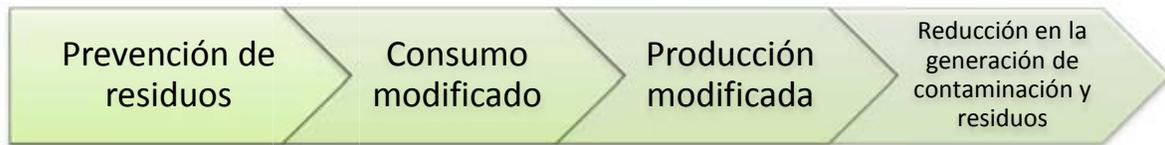


Diagrama 2. Beneficio ambiental por prevención de residuos, elaboración propia.

Es importante mencionar que la prevención en la generación de residuos también influye en otros beneficios ambientales importantes, por ejemplo, el metano derivado de los residuos es un notable contribuyente al calentamiento global, por lo tanto la prevención en la generación de residuos ayuda a mitigar el cambio climático.

Mientras que los residuos urbanos representan el “*back end*” o estado final del proceso, hay por lo menos tres razones que justifican el enfoque del manual hacia la corriente de los residuos:

- 1) Se trata de residuos al final de la vida útil de los productos y por lo tanto, sujetos a incentivos diferentes que los residuos generados por la industria. Los costos de manejar residuos industriales corren a cargo de los generadores de estos residuos, mientras que los costos a los generadores de residuos sólidos urbanos suelen ser atenuados o indirectos.
- 2) Los residuos sólidos urbanos derivados de la distribución se están volviendo foco importante ante el creciente uso del comercio electrónico.
- 3) La prevención de residuos sólidos urbanos puede promover la reducción de residuos en cualquier parte del ciclo de vida del producto. En general la prevención de residuos sólidos urbanos implica modificar patrones de consumo y de producción relacionados con la reducción en la generación de residuos en el ciclo de vida del producto.

Los gobiernos deberán dirigir su atención en tres actividades fundamentales, con el objetivo de implementar de manera más factible el programa de prevención de residuos, apoyándose en lo siguiente:

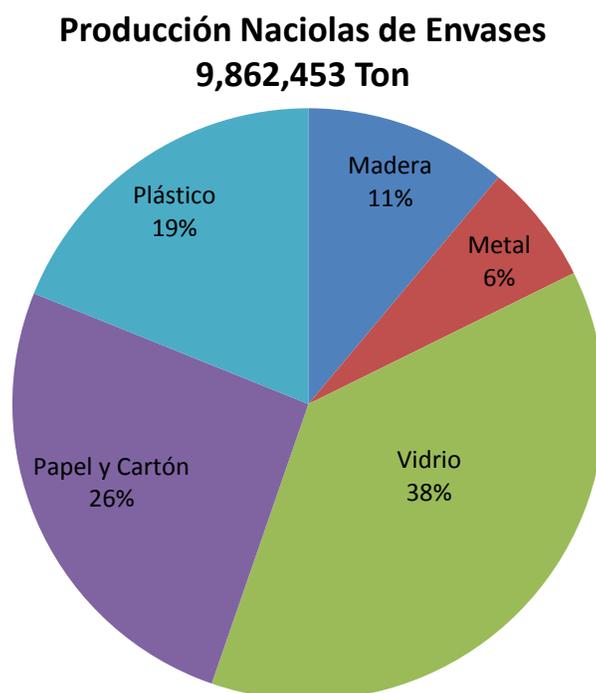
1. Definir un objetivo cuantitativo para la prevención de residuos.
2. La correcta selección e implementación de los instrumentos para la prevención y minimización de residuos.
3. La evaluación del desempeño del programa de prevención de residuos en los términos: ambiental, social y económico.

## 2.3 Envase multicapa y su situación actual en México

La industria de los alimentos y bebidas en México es uno de los sectores más dinámicos dentro de nuestra economía, cada año se registran mayores producciones, lo que a su vez implica un mayor crecimiento en la industria de envases y embalajes.

De acuerdo con cifras de la Asociación Mexicana de Envase y Embalaje (AMEE), la industria registró en el año 2013 una producción total de 9, 862, 453 toneladas, lo que representa un crecimiento del 3% con el año anterior (2012).

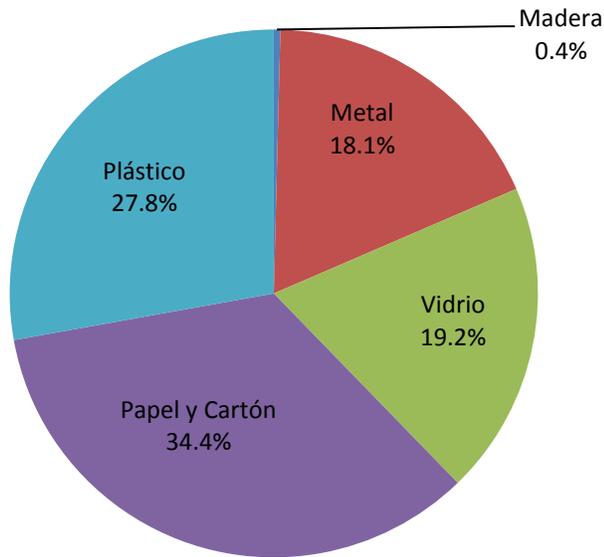
En la gráfica 2 se muestra en qué porcentaje se divide la producción total de envases y embalajes.



Gráfica 2. Producción Nacional por tipo de material. Fuente AMEE 2014

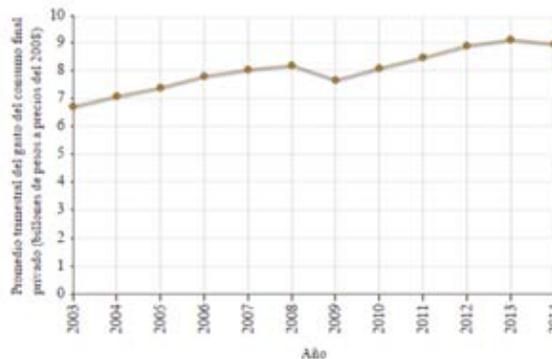
En la gráfica 3 se muestra el valor de la producción por material de envase; estos datos nos ayudan a entender el porqué de la utilización de cada material, así como las ganancias que genera.

## Valor de venta de los envases 13,854.3 MDD



Gráfica 3. Valor de producción por tipo de material. Fuente AMEE 2014.

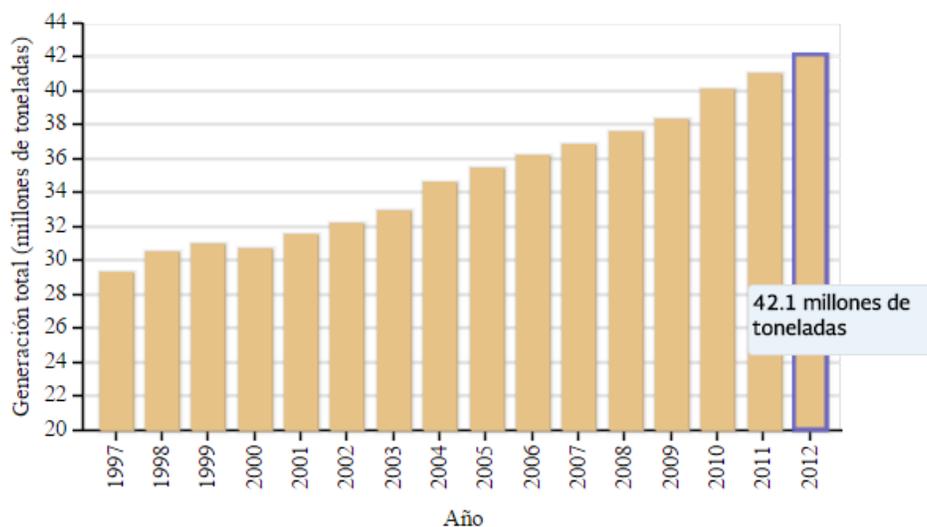
Para el año 2012, la producción anual de envases Tetra Pak alcanzó los 173,234 millones. Estas cifras ayudan a dimensionar la cantidad generada de residuos sólidos urbanos en México, que en general, sigue la tendencia marcada por el consumo final nacional privado, esto es: el valor total de todas las compras en bienes y servicios de consumo individuales y colectivos realizados por los hogares, instituciones y el gobierno. Las tendencias indican que a mayor consumo mayor potencial de generación de residuos, esto se aprecia en la gráfica 4.



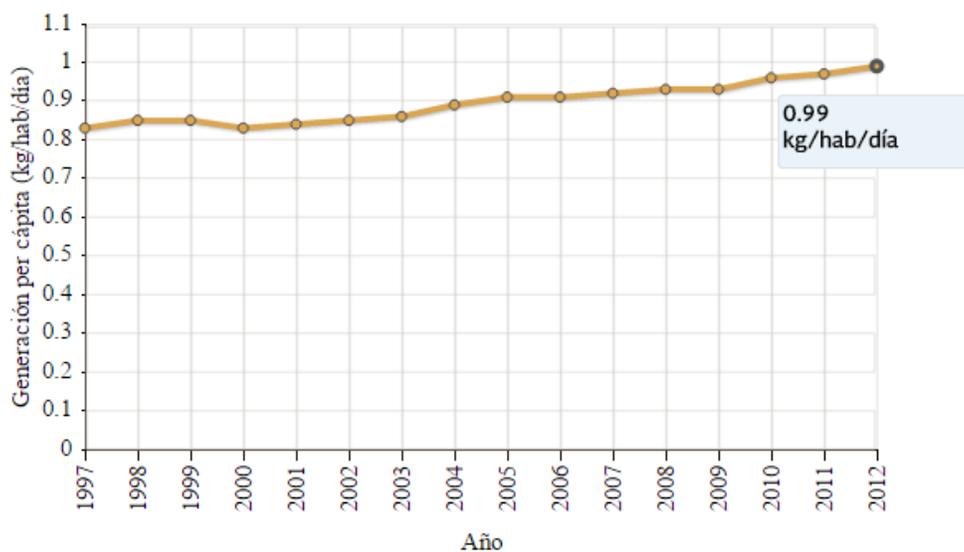
Nota:  
1) Cifras preliminares enero de 2014.  
2) En 2014 datos al primer trimestre.

Gráfica 4. Gasto del consumo final privado. Fuente SNIA SEMARNAT, 2014

El volumen creciente de RSU y su manejo inadecuado, promueven la proliferación de tiraderos sin control, los cuales generan riesgos al ambiente y a la salud humana. Las gráficas 5 y 6 muestran la generación total a nivel país y la generación per cápita respectivamente.



Gráfica 5. Generación total de RSU. Fuente SNIA SEMARNAT, 2014



Gráfica 6. Generación de RSU per cápita. Fuente SNIA SEMARNAT, 2014

### 2.3.1 Reciclaje en México

En México, según el Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA), se recolectan diariamente 115,350 toneladas de residuos, es decir, se generan 990 gramos por persona al día, sin embargo solamente el 11.8% de los residuos recolectados son separados.

El estado con el mayor porcentaje de separación nacional en función de la recolección es Querétaro con el 57%, Jalisco con el 40% y Nuevo León con el 30%; el Distrito Federal y el Estado de México con el 18% y 15% de porcentaje de separación y se encuentran en el cuarto y quinto lugar, respectivamente.

En México, según el INEGI en su sección “Cuéntame INEGI” hay 241 centros de acopio que recolectan diariamente materiales diversos, de los cuales 75% es papel, cartón, PET y vidrio.

A nivel mundial la tasa de reciclaje continúa creciendo, hoy en día existen alrededor de 100 molinos de papel y poco más de 25 plantas que recicla en poly-al<sup>16</sup>. De acuerdo con datos de Tetra Pak, en 2013 se reciclaron 620,000 toneladas, esto es alrededor de 39 millones de envases post-consumo, a nivel mundial.

Según la información publicada en la página de Tetra Pak México, el objetivo fijado en 2010 para el año 2020, es duplicar al 40% la tasa de reciclaje; en los últimos cinco años, la cantidad de envases reciclados aumentó de 32,000 millones a 43,000 millones, lo que en porcentaje equivale a pasar del 20.1% al 23.6%.

La fibra recuperada de los envases es de muy alta calidad y por lo tanto es útil para mantener la cantidad y calidad de la fibra recuperada.

En la imagen 5 se muestra un mapa con los actuales recicladores de envases multicapa en México.

---

<sup>16</sup> Poly-al: Polietileno y aluminio laminado en los envases multicapa.



Imagen 5. Distribución geográfica de recicladores de envases multicapa en México. Fuente Tetra Pak

Como se observa en la imagen, la gran mayoría de los recicladores se concentra en el centro del país, cabe mencionar que estos recicladores solamente se enfocan en la parte fibrosa del envase, es decir, en el cartón.

Para el resto del envase - polietileno y aluminio - , se han desarrollado otros recicladores que en su mayoría también se encuentran en la parte central de México. Estos recicladores toman el material de rechazo de las plantas recicladoras de papel. En la imagen 6 se observa la ubicación de estos segundos recicladores.

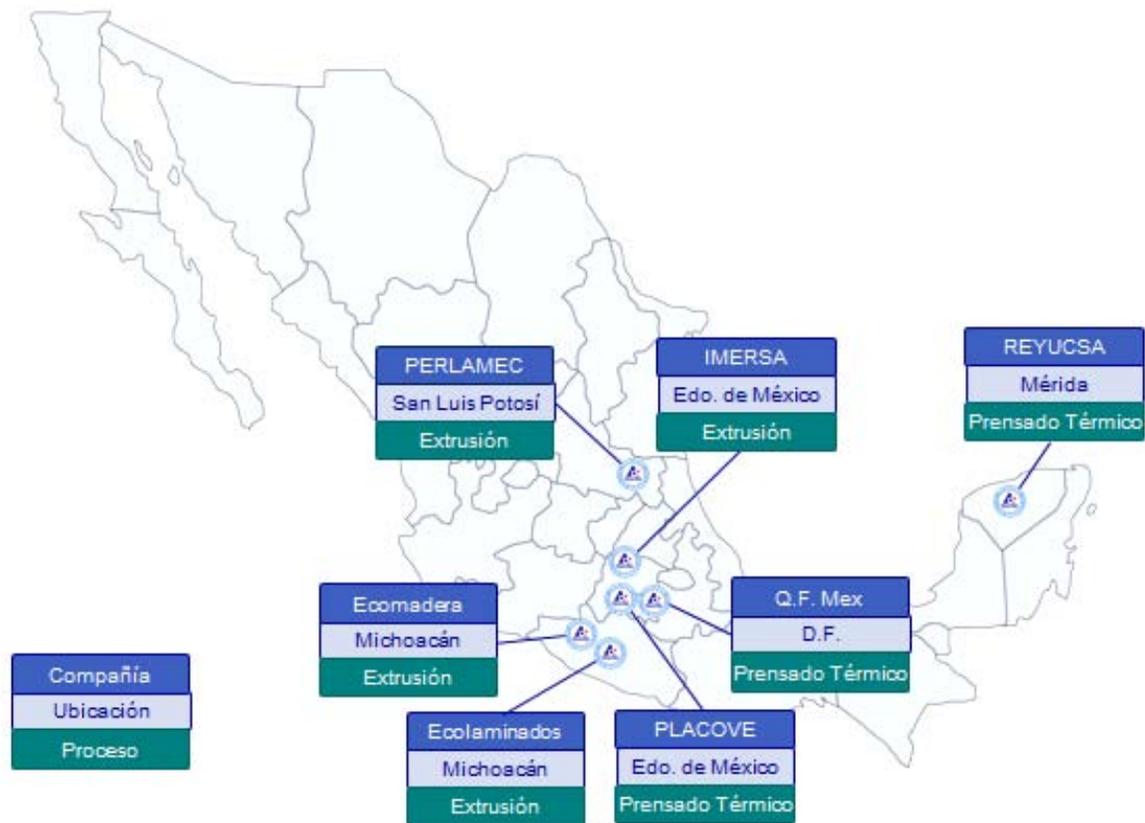


Imagen 6. Distribución geográfica de plantas recicladoras de polietileno y aluminio en México. Fuente Tetra Pak

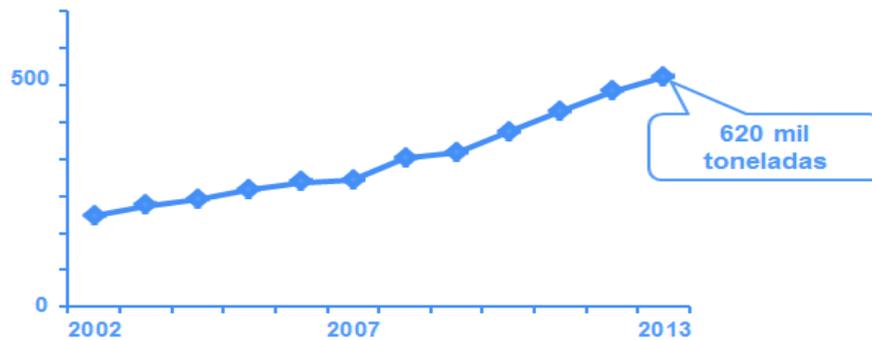
Los beneficios obtenidos con la minimización de los RSU por el reciclaje adecuado inciden directamente en la capacidad de espacio de los sitios de disposición final; también se genera reducción de costos, disminución de la cantidad de residuos que requieren de disposición final.

Como se ha mencionado, el manejo inadecuado de los RSU tiene efectos negativos en México, como la generación de lixiviados, contaminación de suelos, etc. Tetra Pak en búsqueda de disminuir estos efectos, ha trabajado activamente para incrementar la tasa de reciclaje, por ejemplo, desarrollando métodos de tratamiento para poli-aluminio o tecnologías para su tratamiento. De hecho el volumen de cartones reciclados se ha duplicado en los últimos 10 años. Como se observa en la gráfica 6, en 2013 se reciclaron 620 mil toneladas, es decir, más de 39 billones de envases post-consumo a nivel mundial.



## El reciclaje continua creciendo.....

Envases reciclados  
( '000 tons)



Gráfica 7. Tasa de reciclaje de envases multicapa. Fuente Tetra-Pak, 2014

### 2.3.2 Recuperación y reciclaje en el mundo

De todos los cartones de bebidas puestos en el mercado en EUA en 2002, 27% fue reciclado y 29% fue utilizado en plantas generadoras de energía a partir de residuos.

Generalmente la parte plástica que es separada del resto del envase es usada para la recuperación de energía; sin embargo, ni el PET o LDPE, ni el cartón son sustitutos de la materia prima virgen.

En Reino Unido se ha estado buscando la manera de recuperar los cartones de bebida de los distintos tipos de desecho de papel; sin embargo no hay tecnología disponible para segregar las diferentes calidades de papel. La alternativa fue segregar los distintos tipos de residuos del hogar desde el origen, además de una planta en un molino de papel, el cual se hizo completamente operacional en 2003, y posee la capacidad de reciclar el 20% de todos los cartones de comida y bebidas del Reino Unido.

Tetra Pak en 2014 vendió 179,888 millones de envases, teniendo como ventas netas €10,900 millones de Euros.

Hoy en día los procesos de producción de los alimentos y su envasado están muy integrados o ligados, esto ha derivado en soluciones altamente efectivas en cuestión de costos, pero los envasadores de alimentos líquidos son los más adelantados en el estudio de soluciones logísticas

para la distribución, desde que el producto sale de la línea hasta que llega a manos del consumidor final.

En Colombia, por ejemplo, con la finalidad de optimizar el ciclo de vida del producto, Tetra Pak apoya el desarrollo de dos sistemas de reciclaje para los envases post-consumo:

1. Aprovechamiento por hidropulpeo o extracción de pulpa de papel para la producción de papeles y cartones.
2. Aprovechamiento por termocompresión para producción de madera sintética y tejas termoacústicas.

Estas dos opciones de reciclaje logran reincorporar los residuos sólidos de los envases a un nuevo ciclo productivo.

El reciclaje comienza con el acopio del material, luego se ingresa a una máquina llamada hidropulper, la cual funciona como una licuadora que ejerce una acción hidromecánica en el material gracias a la cual se separa al papel del metal y del plástico; *El proceso dentro de esta máquina de nueve metros de diámetro tarda entre 15 y 20 minutos. Luego de separarse, la pulpa se usa para fabricar papel, servilletas, pañales y papel de baño, mientras que el polietileno y el aluminio se aglomeran y se forman láminas que sirven para fabricar muebles o recubrir los palos de las escobas*” ejemplificó Sergio Escalera, director de comunicación y ecología de Tetra Pak México; también comentó que los principales recicladores de Tetra Pak son los fabricantes de papel y otras empresas que recuperan la celulosa y luego la venden.

De acuerdo al director de comunicación y ecología de Tetra-Pak, este producto debe verse como materia prima barata, mientras una tonelada de celulosa virgen cuesta \$1,000 dólares, una de celulosa reciclada cuesta tres veces menos.

Explicó que para 2020 se espera que el reciclaje de Tetra Pak pase de 15% a 50%.

Un envase limpio se aprovecha entre 15% y 20% más que uno sucio, por lo que se debe evitar que el material llegue a los sitios de disposición final donde corre el riesgo de contaminarse con otros materiales.

En el caso del cartón y del PET, los envases recuperados post-consumo no son siempre sustitutos de la materia prima utilizada para fabricar envases para productos de consumo humano (refrescos, bebidas varias y productos líquidos alimenticios), por cuestiones de regulaciones nacionales e internacionales de calidad e higiene. Pero hoy en día el PET está ganando territorio en este aspecto,

varias refresqueras o embotelladoras comienzan a incorporar resina reciclada en la fabricaciones de sus botellas, incluso hay algunos envases hechos 100% de resina reciclada, a este proceso se le llama “botella a botella”.

El esquema de responsabilidad compartida que plantean los fabricantes de envases, considera la actuación de todos los miembros de la cadena de valor, pero da mayor relevancia a: los consumidores, los recolectores de residuos y a quienes comercializan y procesan los residuos sólidos.

### 2.3.3 Directriz sobre el manejo de Bosques

La utilización de recursos renovables es la mejor manera de hacer negocio, pues estos pueden ser cultivados un sin número de veces sin agotar los recursos naturales, siempre y cuando se manejen de forma adecuada.

Los bosques, de donde proviene la madera para la fibra utilizada en los envases, son gestionados de forma responsable, los proveedores deben obtener una certificación tanto de la gestión del bosque y de la cadena de custodia, según los más altos estándares establecidos por la FSC<sup>17</sup>.

Para asegurar que los bosques donde se obtiene la fibra están promoviendo la biodiversidad y la equidad social, se ha construido un procedimiento para el abastecimiento responsable de cartón para envasar alimentos. El procedimiento define requerimientos y ambiciones, además asegura la transparencia de las actividades y logros; también se audita de forma independiente el desempeño para asegurar la responsabilidad. Los objetivos, acciones y la comunicación de estos planes de trabajo constituyen el programa de silvicultura de Tetra Pak. El programa se enfoca en la trazabilidad del proveedor y el manejo sustentable de los bosques.

---

<sup>17</sup> FSC: *Forest Stewardship Council*

## Capítulo 3º. Indicadores ambientales y metodología

En este capítulo se revisaron los principales indicadores ambientales con los cuales se evalúan los impactos de los materiales principales con los que se elaboran envases y embalajes.

Para conocer los factores generados por el hombre y sus actividades y la presión ambiental general en un territorio y tiempo determinado, es necesario evaluar la magnitud de los cambios sucedidos, detectar dinámicas evolutivas y proponer medidas adecuadas de respuesta.

Debido a esta necesidad se creó el mecanismo de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), aceptado a partir de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1992 pero promovido a nivel mundial desde 1970. Hoy en día se ha convertido en una herramienta indispensable de la política pública ambiental. El mecanismo de la EIA ha sido aceptado en México a partir de la formulación de la LGEEPA en 1998.

El impacto ambiental (IA) implica los efectos adversos sobre los ecosistemas, el clima y la sociedad debido a las actividades como la extracción excesiva de los recursos naturales, la disposición inadecuada de los residuos, la emisión de contaminantes y el cambio de uso del suelo, entre otros. Se reconocen impactos directos e indirectos, donde los indirectos surgen por el efecto secundario de los anteriores.

La EIA debe considerar en su proceso el análisis de diversos aspectos biofísicos, como son: la degradación de ecosistemas, la pérdida de especies, el cambio en la resiliencia, etc., y en aspectos antropogénicos como la vulnerabilidad social, la reversibilidad de impactos y las consecuencias económicas, entre otros.

Existen tres componentes principales que deben formar parte de la EIA:

- Ecosistémico: atmósfera, hidrósfera, biósfera y litósfera.
- Administrativo: aspecto políticos, socioeconómicos y organizativos.
- Investigación: básica y aplicada, monitoreo y educación ambiental.

Estos componentes se relacionan entre sí en tres niveles de acción: global, regional y local, lo que se refleja en el esquema conceptual del desarrollo sustentable.

### **3.1 Indicadores Ambientales**

Son evaluaciones que requieren mucha información base de diversos aspectos, información que se obtiene sobre todo en redes de monitoreo ambiental, según el documento “*La evaluación de impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales*” de María Perevochtchikova, profesora e investigadora en el Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales de El Colegio de México.

El desarrollo de los indicadores ambientales se inicia al final de la década de los 80 en Canadá y algunos países de Europa, el siguiente impulso correspondió a la Cumbre de la Tierra, que en su Agenda 21, estipuló la necesidad de contar con información ambiental e indicadores de desarrollo sostenible.

Fue a partir de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro en junio de 1992, los compromisos que asumen los gobiernos en la Agenda 21.

### **3.2 Indicadores Ambientales para la EIA**

Los indicadores ambientales permiten evaluar los avances de la política pública ambiental y la efectividad de los programas implementados.

De acuerdo con el libro “*Environmental Assessment for Sustainable Development: Processes, Actors and Practice*”, los indicadores se subdividen en tres grupos, según la etapa de diseño de política pública, dentro del esquema plasmado por la OCDE y expresado en forma de cadena de causalidad de presión-estado-respuesta.

- Presión: acciones antropogénicas directas sobre el ambiente (emisiones de contaminantes y descargas de aguas residuales), e indirectas (crecimiento de población y de producto interno bruto).
- Estado: se diagnostica la calidad ambiental (agua, aire, suelo, flora y fauna) y de los recursos asociados a los procesos de producción socioeconómica.
- Respuesta: se plasman los indicadores relacionados con el nivel de esfuerzo social y político en materia ambiental, que posteriormente servirá para la evaluación de desempeño ambiental.

No existe un método formalizado para la conformación de indicadores ambientales, cada país ha seguido vías distintas, pero se pueden presentar los siguientes pasos metodológicos como síntesis de las experiencias internacionales:

1. Definir objetivos y metas del sistema de indicadores.
2. Estructurar analíticamente el sistema y seleccionar los temas.
3. Revisar la experiencia internacional y nacional al respecto.
4. Desarrollar la propuesta de indicadores.
5. Revisar, analizar y evaluar públicamente la propuesta.
6. Afinarla y aprobarla.

Los indicadores ambientales deberán elaborarse tomando en cuenta la problemática específica de cada comunidad o territorio. Se pueden agrupar los indicadores por área temática en relación con el medio afectado, por ejemplo: agua (consumos y contaminación), aire (contaminación), residuos (producción y disposición), suelo (uso y contaminación), vegetación (biomasa, diversidad y deterioro).

### **3.3 Indicadores Internacionales y Nacionales**

Diversas organizaciones han construido indicadores ambientales en el terreno internacional, las propuestas más relevantes son las siguientes:

- Comisión de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sustentable: lista de 134 indicadores de desarrollo sustentable relacionados con la Agenda 21<sup>18</sup> incluye las esferas económica, social, institucional y ambiental.
- Organización Mundial de la Salud: indicadores ambientales y de salud, propuesta con 45 indicadores piloto.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos: indicadores ambientales con desarrollo continuo, indicadores clave: agricultura, ambiente, energía, transporte y consumo sustentable del hogar.
- Agencia Europea de Medio Ambiente: indicadores comunes para Europa, sistema de 10 indicadores locales de sustentabilidad.

---

<sup>18</sup> Agenda 21: Plan de acción de las Naciones Unidas para el desarrollo sustentable, puede ser ejecutada en todo el mundo a nivel local, nacional y global.

- Eurostat: indicadores de desarrollo sustentable relacionados con la estrategia de la Unión Europea.

A nivel continente americano, Canadá definió 42 indicadores de presión-estado-respuesta, como emisiones y concentraciones de contaminantes en aire, agua, suelo, temperatura, especies en peligro, etc., con el objetivo de proteger la salud humana, la integridad de los ecosistemas y la sostenibilidad de los recursos naturales.

En América Latina, se encuentran trabajos en los cuales se evalúa el estado ambiental en algunos países de la región. Entre los temas tratados están: población (crecimiento, urbanización), economía (pobreza, ingresos), sociedad (salud y educación), ambiente (agua, aire, suelo, residuos, especies) y cambio climático (emisiones de contaminantes, producción y consumo de energía, desastres naturales, agricultura y cambio de uso el suelo).

En México en 1993, el entonces Instituto Nacional de Ecología (INE) participó en el Taller Norteamericano de Información Ambiental junto con la Environment Protection Agency of Canada y Environment Protection Agency (EUA). El resultado del taller fue un estudio llamado “*An Approach towards Environmental Indicators for Mexico 1994*”, el cual estableció las bases conceptuales para el desarrollo de indicadores ambientales en nuestro país. Para 1997 el INE junto con SEMARNAP escribieron el reporte “*Avances en el desarrollo de indicadores para la evaluación del desempeño ambiental en México*”, documento en el que por primera vez el país dio a conocer un listado de indicadores para evaluar el desempeño ambiental de las políticas públicas.

Posterior a esta publicación se dieron a conocer los primeros indicadores basados en el esquema presión-estado-respuesta de la OCDE; en el año 2000 se hizo una actualización del primer reporte (1997) y se incluyeron nuevos indicadores como: agua, suelo, pesca y bosque. En 2003 se publicó un informe de la situación ambiental en México con un compendio de estadísticas ambientales que corrió a cargo de SEMARNAT y en 2008 presentó la publicación “*Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental de México*”, esta vez con cerca de 140 indicadores más otras 540 variables complementarias; los temas más tratados en todas estas publicaciones e informes son: agua, aire, residuos y biodiversidad.

La tabla 2 muestra los indicadores ambientales para la Ciudad de México.

Área temática	Tema	Indicador Ambiental	Unidad de medición
Aire	Emisiones	CO <sub>2</sub>	Kg total
		NO <sub>x</sub>	Kg total
		SO <sub>x</sub>	Kg total
		PM <sub>10</sub>	Kg total
		HC	Kg total
	Auditiva	Ruido	dB max
Agua	Agua potable	Uso de agua potable	m <sup>3</sup> total
		Modificación de corrientes naturales	sí-no
		Producción de agua residual	m <sup>3</sup> /s
	Agua residual	Uso de agua tratada	m <sup>3</sup> /s
		Reuso de agua tratada	m <sup>3</sup> /s
	Descargas	SDT	mg/l
		DQO	mg/l
		DBO	mg/l
Residuos	Residuos de construcción	Producción total	m <sup>3</sup>
		Reciclaje	%
	Peligrosos y tóxicos	Producción	Kg
		Reciclaje	%
	Residuos orgánicos	Producción	Kg total
		Reciclaje	%
Vegetación	Cantidad	Árboles derivados	Número
	Valor ambiental	Puntos asignados	Puntos
Suelo	Modificación del uso de suelo	% superficie de construcción respecto al total	%
		Compactación	Velocidad
	Erosión	Índice de erosión	cm/año por grado de erosión
	Contaminación	Acidificación	pH
Energía	Energía alternativa	% de energía alterna	KW total
	Energía		KW total

Tabla 2. Indicadores Ambientales, elaboración propia.

### **3.4 Impactos Ambientales**

De acuerdo a la SEMARNAT, se define como impacto ambiental a la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

Se pueden clasificar de acuerdo a su origen:

- Aprovechamiento de recursos naturales renovables, tales como el aprovechamiento forestal o la pesca; o no renovables, como la extracción del petróleo.
- Contaminación. Todos aquellos eventos que producen algún residuo (peligroso o no), emiten gases a la atmósfera o vierten líquidos al ambiente.
- Ocupación del territorio. Los proyectos que al ocupar un territorio modifican las condiciones naturales por acciones tales como desmonte, compactación del suelo y otras.

Igualmente, existen clasificaciones de impactos ambientales de acuerdo a sus atributos, por ejemplo:

- Positivo o Negativo: en términos del efecto resultante en el ambiente.
- Directo o Indirecto: si es causado por alguna acción del proyecto o es resultante del efecto producido por la acción.
- Acumulativo: es el efecto que resulta de la suma de impactos ocurridos en el pasado o que están ocurriendo en el presente.
- Sinérgico: se produce cuando el efecto conjunto de impactos supone una incidencia mayor que la suma de los impactos individuales.
- Residual: el que persiste después de la aplicación de medidas de mitigación.
- Temporal o permanente: periodo determinado o definitivo.
- Reversible o irreversible: depende de la posibilidad de regresar a las condiciones originales.
- Continuo o periódico: dependiendo del periodo en que se manifieste.

### **3.5 Metodología para calificar efectos ambientales**

Se han ideado diversas metodologías dirigidas principalmente a evaluar los efectos ambientales, las más comunes son las siguientes:

- a) Equipo interdisciplinario: consiste en analizar la opinión de los diversos especialistas, cada uno en su campo, a fin de definir con mayor exactitud, los daños o perjuicios de la acción propuesta. Se requiere de varios pasos sucesivos de revisión, para que todo el personal especializado esté de acuerdo con la solución adoptada.
- b) Técnicas de superposición: Se emplean para tomar decisiones entre diferentes alternativas al observar en planos superpuestos las áreas afectadas y el factor que genera el efecto.

- c) Listado: Califica el efecto que produce cada uno de los factores en las diversas alternativas.
- d) Matricial: Consiste en listados de los elementos ambientales que intervienen, calificados contra otra lista de acciones que los pueden afectar.
- e) Reticular: Las redes relacionan causa-condición-efecto a diferencia de la matriz que solamente relaciona causa-efecto.

### 3.5.1 Método matricial de interacción

Es el modelo más usado propuesto por L.B. Leopold desde 1971 y que se le conoce precisamente por su nombre.

Contiene un listado de 100 acciones contra 88 características ambientales que se cruzan en su intersección en caso de que el proyecto los afecte. Posteriormente se asigna una calificación tanto a magnitud como a importancia. Lo conveniente es modificar los conceptos de acuerdo al proyecto por analizar.

La escala de calificación va del 1 al 10, no se incluye el cero porque indicaría un efecto nulo; el 1 representa un efecto mínimo perceptible y el 10 un efecto importante. En otros casos se adopta una escala de -5 a +5 en donde el signo indica el tipo de efecto, en esta escala es muy fácil distinguir entre un beneficio o un perjuicio.

Dependiendo del proyecto o acción estudiada, la matriz puede resultar en ocasiones tan grande que es difícil de manejar directamente en el informe. En este caso y para el tema de estudio de esta tesis las características y acciones ambientales en el método de la matriz de Leopold son las siguientes:

#### Características ambientales en el método de la matriz de Leopold

- A. Características físicas y químicas
  - a) Terrestre
    - a. Recursos minerales
    - b. Suelos
    - c. Perfiles del suelo

- b) Agua
  - a. Superficial
  - b. Subterránea
  - c. Calidad
  - d. Recarga
- c) Atmósfera
  - a. Calidad
  - b. Clima
  - c. Temperatura
- B. Relaciones Ecológicas
  - a) Salinización de los recursos acuíferos
  - b) Eutrofización
  - c) Abusos
  - d) Otros

### Acciones ambientales en el método de la matriz de Leopold

- A. Modificación del régimen
  - a) Alteración de las capas del suelo superficial
  - b) Alteración de la hidrología subterránea
  - c) Alteración de los escurrimientos
  - d) Modificación del clima
- B. Recursos
  - a) Perforaciones
  - b) Excavaciones superficiales
  - c) Perforaciones de pozos
  - d) Talado de bosques
- C. Procesos
  - a) Generación de energía
  - b) Industria química
  - c) Industria del papel
- D. Alteración del suelo
  - a) Control de la erosión
  - b) Control de desperdicios

- E. Renovación de los recursos
  - a) Reforestación
  - b) Recarga subterránea
  - c) Tratamiento de residuos
- F. Disposición y tratamiento de desperdicios
  - a) Rellenos
  - b) Disposición de metales
  - c) Pozos de petróleo
  - d) Descargas municipales
  - e) Descargas de líquidos
  - f) Emisiones

## **Capítulo 4º. Análisis ciclo de vida y determinación de impactos ambientales**

En este capítulo se revisará la definición del Análisis Ciclo de Vida, sus distintas etapas y las distintas metodologías para determinar impactos ambientales; así como las entradas y salidas de materia prima y energía para producir los envases multicapa y por último la selección de indicadores para la determinación de impactos ambientales.

### **4.1 Análisis Ciclo de Vida**

El Análisis Ciclo de Vida (ACV) es una metodología sistémica para la cuantificación de impactos ambientales de sistemas, procesos, servicios y productos, mediante la elaboración de inventarios de los insumos materiales y energéticos, así como las emisiones y residuos involucrados en todas las etapas del ciclo de vida.

Esta herramienta examina cada etapa del ciclo de vida de un producto, es decir, desde la extracción de materias primas, siguiendo con la fabricación, distribución, utilización, posible reciclado y disposición final. Para cada etapa se calculan las entradas (en términos de materias primas y energía) y salidas (en términos de emisiones al aire, agua y residuos sólidos) y se totaliza para todo el ciclo de vida del producto. Estas entradas y salidas se traducen en sus efectos al ambiente. La sumatoria de estos impactos o efectos ambientales representa el efecto total al ambiente del producto o servicio.

El ACV se enfoca principalmente al rediseño de productos bajo el criterio en que los recursos energéticos y materias primas no son ilimitados y se utilizan de forma muy rápida, sin dar tiempo a que se reemplacen. Debido a esto el ACV plantea hacer un mejor manejo de los residuos, minimizando así todos los impactos asociados con el manejo de estos.

Las fases del ACV son tres, como se observa en el diagrama 3.

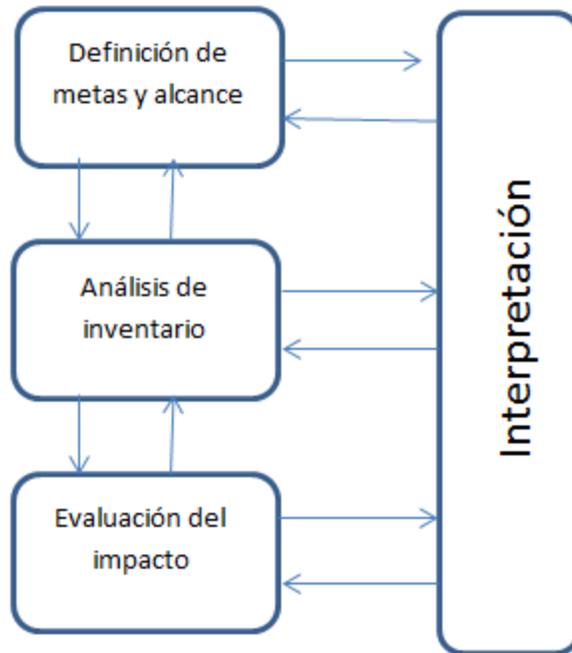


Diagrama 3. Fases del Análisis Ciclo de Vida

1. Definición de metas y alcance: se definen los productos y servicios a evaluar, así como el nivel de detalle requerido, también se elige una base funcional para la comparación.
2. Análisis de inventarios: se cuantifica para cada proceso la energía, la materia prima utilizada, las emisiones a la atmósfera, agua y suelo, además se realiza un análisis del inventario de extracciones y emisiones, para combinarlos posteriormente en la tabla de fases del ACV y relacionados con una base funcional.
3. Evaluación de impacto: los efectos del recurso utilizado y las emisiones generadas son agrupadas y cuantificadas en un número limitado de categorías de impacto que son ponderadas por importancia.
4. La interpretación de resultados es reportada de la forma más informativa posible y las necesidades y oportunidades para reducir el impacto ambiental de los productos o servicios son evaluados sistemáticamente.

#### 4.1.1 ISO 14040

El ISO 14040:2006 describe los principios y el marco de trabajo para el análisis ciclo de vida (ACV), incluyendo: definición de la meta y el alcance del ACV, la fase del análisis de inventario del ciclo de vida, la fase de la evaluación del impacto del ciclo de vida, la interpretación del ciclo de vida, presentación de informes y revisión crítica sobre el ACV, limitaciones, relación entre fases, condiciones de uso para ciertos valores y elementos opcionales.

ISO 14040 cubre los estudios de valoración del ACV y del inventario del ciclo de vida. No describe detalladamente la técnica, ni especifica las metodologías para cada fase individual del ACV.

El objetivo principal es comparar el desempeño ambiental de los productos con el fin de ser capaz de escoger el menos dañino. El término “ciclo de vida” refiere que para la evaluación justa e integral, se necesita de la producción de materias primas, fabricación, distribución, uso y eliminación (incluyendo todos los pasos intermedios de transporte) para ser evaluado. Esto es el “ciclo de vida” del producto. El concepto puede ser utilizado para optimizar el desempeño de un solo producto o de una compañía.

El desarrollo de estas Normas Internacionales para la valoración del ciclo de vida es un paso importante para consolidar los procesos y métodos del ACV, su contribución es crucial para la aceptación general del ACV por los interesados y por la comunidad internacional.

En el caso de los envases multicapa, el ACV comienza desde el diseño del mismo así como en la elección de materias primas que lo conformarán como el PE, la celulosa y el aluminio; posteriormente se transportarán hacia las empresas que los llenarán con distintos productos, una vez llenos serán de nuevo transportados hacia los puntos de venta donde los consumidores después de obtener el contenido los desecharán. Los envases post-consumo se pueden utilizar como energía, en la producción de composta y por último a sitios de disposición final. La imagen 7 muestra las etapas del ciclo de vida del envase multicapa.

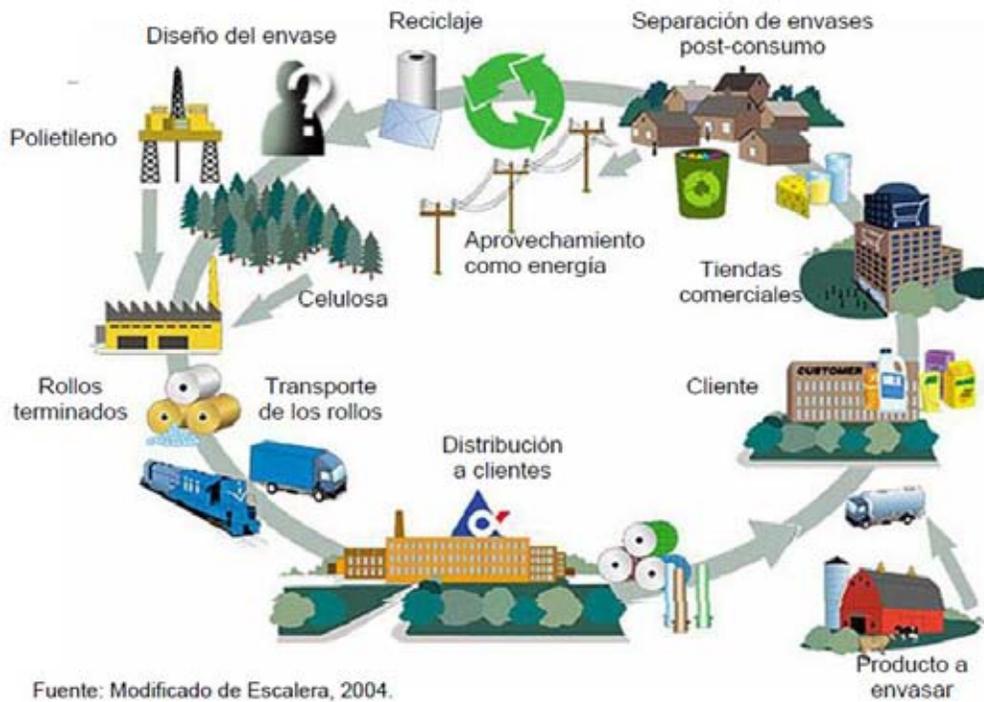


Imagen 7. Ciclo de vida del envase multicapa, Fuente Tetra Pak

## 4.2 Etapas del ciclo de vida de los envases multicapa

### 4.2.1 Transporte de materias primas

Se han implementado metodologías para optimizar el transporte de materias primas, reduciendo los impactos ambientales asociados. El principal transporte usado en Tetra Pak, por ejemplo, para las materias primas y los envases vacíos es el marítimo, con lo que se logra la menor generación posible de gases efecto invernadero.

### 4.2.2 Proceso productivo

Para minimizar los impactos ambientales del proceso productivo se han implementado procedimientos, instructivos y tecnologías de punta en todas las etapas. Todas las plantas de producción de Tetra Pak se encuentran certificadas bajo la Norma Ambiental ISO 14001; ahora se encuentran implementando la metodología de producción WCM (*World Class Manufacturing*). Con

ella se busca la excelencia en la producción y el mejoramiento continuo, teniendo en cuenta el manejo ambiental y el manejo de seguridad industrial de las plantas.

#### 4.2.3 Etapa de llenado

La etapa de llenado es uno de los impactos ambientales más importantes dentro del análisis de ciclo de vida del producto. Por ello, todos los equipos de llenado y proceso suministrados por Tetra Pak han sido sometidos a los procedimientos de ecodiseño. Así, se logra una reducción significativa en el consumo de recursos naturales (energía y agua/tonelada de producto) y la generación de desperdicios/efluentes (por ejemplo, porcentaje de desperdicio durante el proceso de llenado).

En esta etapa, Tetra Pak asesora a sus clientes en la implementación de metodologías de producción para minimizar los impactos ambientales generados por el proceso de llenado. Un ejemplo es el control de operación PLMS (*Packaging Line Monitoring System*), herramienta computarizada que permite obtener y analizar los datos y tendencias del proceso de llenado para implementar mejoras con prontitud. Adicionalmente, se ha desarrollado un programa de recolección de residuos post-industriales. Estos se recuperan, comercializan y aprovechan en las plantas de reciclaje de envases.

#### 4.2.4 Consumo de materias primas, agua y energía

Según un documento publicado en 1999 por la agencia GTZ en México, la producción de 1 tonelada de papel requiere de:

- 1,845.06 kg de madera
- 108.06 kg de cal
- 180.11 kg de sulfato de sodio
- 38.02 kg de carbonato de sodio anhidro
- Aditivos como: almidón, dióxido de titanio, bentonita, caseína, cera, talco, etc.
- 100,114.8 l de agua
- 7,000 kWh de energía eléctrica

Y se generan:

- 42.02 kg de contaminantes en el aire
- 18.01 kg de contaminantes en el agua
- 88.05 kg de desechos sólidos

De la producción mundial de petróleo crudo, alrededor de 96-97% se emplea para la generación de energía, el resto, 3-4% será transformado por la industria petroquímica, y de ese pequeño porcentaje sólo un mínima parte es utilizado en la producción de material para envase.

Sin embargo, según un artículo de la sección “Ecológica” del periódico La Jornada, escrito por María Laura Ortiz Hernández del Centro de Investigaciones en Biotecnología de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, el 99% de los plásticos se produce a partir de combustibles fósiles, es decir, sólo el 1% de los plásticos proviene de fuentes renovables o son fabricados a partir de materiales reciclados. La investigadora señala que para el año 2000, la producción mundial alcanzó los 160 millones de toneladas y en México para el año 2006, se superaron los 4 millones de toneadas; se calcula que cada año en nuestro país cada persona consume 49Kg de plástico.

Para fabricar 1 tonelada de plásticos se necesita:

- 2 t de petróleo
- 2,870 kWh de energía eléctrica
- 3,283.18 l agua
- Combustibles y lubricantes
- Aditivos

Y produce:

- Tricloroetano
- Acetona
- Cloruro de Metileno
- Metil Etil Cetona
- Estireno
- Tolueno
- Benceno
- 1,1,1 Tricloroetano
- Óxidos de azufre

- Óxidos nitrosos
- Metanol
- Óxido de etileno
- Compuestos orgánicos volátiles
- Emisiones gaseosas a la atmósfera
- Efluentes
- Residuos sólidos
- Residuos peligrosos

El aluminio es el elemento del envase que más consumo de energía requiere; para obtener 1 tonelada de aluminio se necesitan:

- 4,385.63 kg de bauxita (óxido de aluminio), este se obtiene a través de excavaciones a cielo abierto.
- 510.31 kg de coque (carbón de piedra)
- 483.29 kg de carbonato de sodio anhidro
- 119.07 kg de cal
- 57,720 kWh de energía eléctrica
- 438 kg de dióxido de sodio

Y se generan:

- 1,492 kg de barros rojos
- 1,315 kg de dióxido de carbono
- 40.52 kg de contaminantes al aire
- 394.74 kg de desechos sólidos

La bauxita se convierte primero en óxido de aluminio y por electrólisis se produce aluminio puro, proceso que requiere de un alto consumo de energía eléctrica.

Para producir mil envases de 1 l se consumen 7.46 kg de bauxita, y, en un solo envase se emplean 5 gr de folio o *foil* de aluminio.

El aluminio puede reciclarse infinidad de veces sin pérdida de sus propiedades, al igual que el vidrio, además el aluminio reciclado no se diferencia del aluminio virgen. Al reciclarlo, se reduce el gasto de energía y la emisión de contaminantes en un 95%.

### **4.3 Estudios sobre Análisis Ciclo de Vida de Envases y Embalajes**

A continuación se presentan dos estudios de ACV los cuales ejemplifican la implementación de la metodología para cuantificar los efectos ambientales de dos de los residuos más comunes hoy en día en México; el primero estudia los distintos escenarios posibles para el manejo de los envases una vez que la bebida ha sido consumida y el segundo se enfoca a determinar qué fase de todo el ciclo de vida de los vasos de ps expandido, o más comúnmente conocido como unicef, es la que más contamina.

#### **4.3.1 Estudio del Análisis Ciclo de Vida (ACV) del manejo de envases de bebidas de polietileno-tereftalato (PET) en la fase de post-consumo**

Este estudio realizado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ, por sus siglas en alemán), identifica la necesidad de evaluar en términos ambientales los esquemas de producción, consumo, reciclaje y manejo de residuos de los envases de bebidas PET en México.

Los envases para bebidas de PET ofrecen ventajas funcionales como ligereza y facilidad de distribución, además han sido muy bien recibidos por los consumidores. La participación de estos envases en el mercado es muy importante, ocupando el 65.8% seguido de los envases de vidrio con 11.9% y de aluminio con 6.6%.

Desde el punto de vista de residuos sólidos urbanos (RSU), los envases y embalajes plásticos han presentado el mayor crecimiento en los últimos 15 años, cuadruplicando su peso en la mezcla de RSU. Bajo este escenario de crecimiento, los residuos de envases PET pueden presentar impactos ambientales significativos a los ecosistemas así como problemas en el funcionamiento de servicios públicos. Por otro lado, la canalización de los residuos de envases PET al sistema de recolección de residuos, contribuye a incrementar los impactos ambientales debidos a los consumos de materiales y energéticos necesarios para los procesos de recolección, acondicionamiento, tratamiento y disposición final. También es necesario evaluar las distintas tecnologías de reciclaje que operan en el mercado, las estrategias de acopio y los requerimientos de transporte para el reciclaje nacional e internacional. Finalmente, los esquemas de consumo de envases en masa (desechables), se relaciona directamente a la utilización ineficiente de los recursos naturales (recursos petroquímicos no

renovables en el caso del PET), representan un desperdicio de recursos aprovechables y energía recuperable.

Existe una iniciativa del sector privado en México que a través de la asociación Ecología y Compromiso Empresarial (ECOCE), un grupo de empresas del ramo de las bebidas y alimentos han asumido el compromiso de colaborar en el manejo de RSU mediante el Primer Plan Nacional Voluntario de Manejo de los residuos de envases de bebidas PET post-consumo, tomando acciones para la recuperación y reciclaje de PET, así como el desarrollo de campañas y programas de educación ambiental.

Cabe mencionar que este estudio se alinea con el objeto de la LGPGIR en cuanto a que es un elemento con información científico-técnica para el fortalecimiento de la instrumentación de estrategias para la gestión integral de residuos, la cual se enfoca en la prevención de la generación y valorización de residuos bajo criterios de eficiencia ambiental y tecnológica.

Este ACV “*Manejo de envases de bebidas de polietilen-tereftalato PET en la fase post-consumo*” se realizó siguiendo la metodología estandarizada por la Organización Internacional de Estándares (ISO 14040) y sus correspondientes normas mexicanas NMX-SAA-14040-IMNC-2008 Gestión ambiental- Análisis de Ciclo de Vida- Principios y marco de referencia y NMX-SAA-14044-IMNC-2008 Gestión ambiental- Análisis Ciclo de Vida- Requisitos y directrices.

La modelación del flujo de materiales y los cálculos de impactos ambientales se realizaron mediante el software UMBERTO<sup>19</sup>. Se emplearon bases de datos internacionales como: *Ecoinvent* y *National Renewable Energy Laboratory*; y datos nacionales recopilados mediante la elaboración y difusión de herramientas de acopio de información como cuadros de datos o cuestionarios con actores clave en el ciclo de vida de los envases de bebidas de PET.

El objetivo general del estudio es evaluar el desempeño ambiental de diferentes escenarios de manejo de envases de bebidas PET post-consumo en México con referencia a la situación o escenario actual, que permita establecer las bases para la toma de decisiones de política ambiental orientadas a mejorar la valorización de este tipo de material.

A partir del objetivo establecido, se definieron escenarios comparativos orientados a evaluar la situación actual del manejo de los envases de PET (recolección, transferencia, plantas de separación y recuperación) con respecto a algunas alternativas de aprovechamiento y considerando vías de

---

<sup>19</sup> UMBERTO: Herramienta para evaluación de métodos de sustentabilidad.

acopio, tipo de reciclaje (grado amorfo, grado alimenticio), lugar de reciclaje (nacional o internacional) y consumo de energéticos para transporte.

La metodología consistió en evaluar el escenario actual de reciclaje de PET en México con respecto a un escenario donde no exista separación, acopio ni reciclaje, esto para evaluar las ventajas ambientales del sistema actual; posteriormente se hizo una evaluación de los impactos suponiendo que el actual volumen de PET acopiado fuera reciclado en el país; a continuación se evalúan los cuatro escenarios planteados incrementando el acopio de envases de bebidas PET post-consumo en sus dos versiones y sus variantes de reciclaje nacional y extranjero respecto al escenario actual. Se evalúan diferentes esquemas de reciclaje nacional y en el extranjero únicamente en términos de potenciales impactos ambientales, se hace énfasis en la fase final de la vida útil de los envases de bebidas de PET pero también se incluye la producción de resina PET virgen para el cálculo de los beneficios ambientales del reciclaje por sustitución de resina reciclada PET (rPET) en un sistema productivo basado en materias primas vírgenes.

Para este estudio se definieron siete escenarios a modelar:

1. Escenario base; modelo del escenario actual de manejo de los envases para bebidas de PET post-consumo en México con datos base 2010-2012.
2. Escenario cero; modelo del escenario de disposición final sin esquemas de valorización para los envases para bebidas PET.
3. Escenario base con reciclaje nacional; modelo del escenario base que supone todos los envases para bebidas de PET acopiados canalizados a reciclaje nacional.
4. Escenarios de incremento de reciclaje versión 1; modelo en el que se define un incremento del reciclaje de un 37% con respecto al volumen acopiado en el escenario actual. Se considera un incremento de acopio para reciclaje debido al aumento simultáneo de eficiencia de separación en el sistema de manejo de residuos y los programas de separación, se establece también una disposición al ambiente fija del 1%.
5. Escenario de incremento de reciclaje vía nacional versión 1; este escenario presenta un incremento del reciclaje del 37% sobre el total acopiado en el escenario actual, considerando el mejoramiento de la eficiencia del sistema de manejo y los programas de separación, bajo la suposición que todo el material PET acopiado es canalizado a reciclaje nacional.
6. Escenario de incremento de reciclaje versión 2; en este modelo se mantiene el incremento de reciclaje de 37% con respecto al volumen acopiado en el escenario actual; se considera

el incremento del acopio para reciclaje debido al aumento de la eficiencia en los programas de separación.

7. Escenario de incremento de reciclaje vía nacional versión 2; modelo que mantiene el incremento de reciclaje del 37% del volumen total acopiado por aumento de la eficiencia de los programas de separación; bajo la suposición que todo el material PET acopiado es canalizado a reciclaje nacional.

El procedimiento de asignación se realizó con base a la masa entrante a todos los procesos, así como las entradas significativas de energía correspondientes a los sistemas productivos, sistemas de transporte y combustibles.

La metodología de evaluación de impactos ambientales (EICV) para este estudio ACV es la CML 2001 (Center of Environmental Science of Leiden University), que es un método de categorías de impacto intermedias para calcular resultados mediante la asignación de factores de caracterización a los flujos elementales de las entradas y salidas de los inventarios.

La selección de las categorías de impacto se realizó considerando lo más relevante la problemática ambiental relacionado con la industria de los plásticos en México, las categorías de impacto más relevante son: cambio climático, agotamiento de los recursos abióticos, agotamiento de la capa de ozono, eco-toxicidad en agua, eutrofización y acidificación.

Los datos empelados en este estudio comprenden información recopilada en fuentes primarias asociadas a los procesos de los tres sistemas definidos (instituciones, asociaciones y empresas), así como datos calculados o estimados a partir de información y referencias nacionales e internacionales. El área geográfica de recopilación de información comprende todo el territorio nacional con enfoque en casos especiales a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y el D.F., ahora CDMX, según se indique.

Para este estudio se establecieron las siguientes suposiciones:

- 1) Para el modelo de manejo de RSU se considera que el PET por-consumo recolectado se dispone en un relleno sanitario
- 2) Para el cálculo de los procesos de transporte correspondientes al sistema de manejo de RSU se consideran las distancias promedio características de la ZMVM<sup>20</sup>.

---

<sup>20</sup> ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.

- 3) Los procesos de reciclaje botella-fibra, botella-lámina, botella-botella (grado no alimenticio) se consideraron como datos agregados de reciclaje correspondiente al reciclaje de PET amorfo.
- 4) Se considera que el acondicionamiento del PET recuperado para reciclaje nacional y para reciclaje en el extranjero es lo mismo en todos los casos, y consiste en un proceso de compactación en pacas. Los procesos de trituración y lavado se incluyen en los procesos de reciclaje.
- 5) Se considera que todo el PET canalizado a reciclaje al extranjero se recicla en China vía la región Asia-Pacífico, con esto, cerca del 80% del PET exportado se envía directamente a la región Asia-Pacífico y 20% se envía vía Estados Unidos a la misma región. 45% es reciclado en China.

Los resultados de la Evaluación de Impacto del ciclo de Vida (EICV) muestran que existe un incremento de la carga ambiental del escenario actual del sistema de manejo PET post-consumo contra el escenario cero, esto principalmente por las actividades de valorización de los envases PET mediante el desarrollo de procesos de reciclaje. Al sustituir la resina PET virgen por resina reciclada, se obtiene un beneficio por la carga ambiental evitada, lo cual incide en mejorar el desempeño ambiental del escenario actual.

En la categoría de cambio climático, en la evaluación de los cuatro escenarios con incremento de acopio-reciclaje, se determinó que existen ventajas ambientales del 50% para los escenarios de reciclaje mixtos (nacional/extranjero) y del 100% para los escenarios de reciclaje nacional.

En la categoría de recursos abióticos, en la evaluación de los mismos cuatro escenarios, se determinó que las ventajas ambientales son de aproximadamente 42% para los escenarios de reciclaje mixto y cerca del 57% para los escenarios de reciclaje nacional.

Para las categorías de: agotamiento de la capa de ozono, eutrofización y acidificación, los mayores beneficios corresponden a los escenarios de reciclaje nacional, con aproximadamente dos veces menos impactos que el escenario actual.

En cuanto a eco toxicidad, los mayores beneficios se obtienen del escenario con reciclaje nacional, alrededor de 24% menos impactos que el esquema actual de reciclaje.

Con base en el análisis y los hallazgos de la modelación, se concluye que las acciones actuales para la valorización de las botellas PET post-consumo, representan ventajas ambientales respecto a no haber realizado ninguna acción de aprovechamiento o valorización. Por otro lado, se presentan también importantes ventajas ambientales en todos los esquemas de incremento de reciclaje nacional sin exportación para reciclaje en el extranjero, esto se debe a las emisiones evitadas correspondientes al transporte marítimo.

Los esquemas de acopio y reciclaje de PET en México presentan ventajas ambientales importantes por la sustitución de resinas vírgenes en el mercado; estos esquemas mejoran la eficiencia del uso de los recursos naturales y disminuyen las emisiones generadoras de potenciales impactos ambientales.

Finalmente, se presentan resultados importantes que favorecen el reciclaje nacional sobre el esquema de reciclaje nacional-extranjero. Se recomienda establecer mecanismos de política pública que favorezcan el mejoramiento de los sistemas de valorización de la botella PET por-consumo, especialmente favoreciendo su reciclaje en el mercado nacional.

#### 4.3.2 Análisis de Ciclo de Vida de vasos desechables en México- Poliestireno Expandido EPS

El objetivo de este estudio fue determinar los impactos ambientales potenciales en el ciclo de vida de vasos EPS. Tener información sólida sobre el Ciclo de Vida de este producto y los impactos ambientales potenciales en el contexto mexicano servirá para apoyar y enriquecer el diálogo con las distintas partes interesadas: consumidores, industria y gobierno.

De acuerdo a las normas ISO-14040 y 14044, la clasificación y caracterización son elementos obligatorios para cualquier Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV). Para este estudio, el método elegido fue CML. Éste satisface los elementos obligatorios de clasificación y caracterización, no toma en cuenta la ponderación u otros elementos opcionales y los resultados pueden ser analizados por cada indicador de categoría; las categorías de impacto evaluadas por CML son aceptadas internacionalmente y los métodos utilizados son científicamente y técnicamente válidos.

Todos los cálculos fueron realizados utilizando el software de SimaPro 7.2, el cual realiza los cálculos de los posibles impactos ambientales alineados a los requerimientos de la norma ISO

14040 y 14044. Primero se realiza una clasificación de las emisiones, por ejemplo, las emisiones de SO<sub>2</sub> van a la categoría de acidificación; el siguiente paso es la caracterización, la cual involucra la conversión de resultados del Inventario del Ciclo de Vida (ICV) a unidades comunes además de los resultados obtenidos en categorías de impacto. Esta caracterización utiliza factores de conversión incluidos en SimaPro 7.2, el resultado del cálculo es un indicador numérico.

Las categorías de impacto son las siguientes:

- Potencial de Reducción de Recursos Abióticos
- Potencial de Acidificación
- Potencial de Eutrofización
- Potencial de Calentamiento Global
- Potencial de Destrucción de la Capa de Ozono
- Potencial de Toxicidad Humana
- Potencial de Ecotoxicidad en Agua dulce
- Potencial de Ecotoxicidad Terrestre
- Potencial de Formación de Oxidantes Fotoquímicos

Con base en estas categorías, se observa que la etapa de materia prima contribuye en su mayoría al Potencial de Reducción de Recursos Abióticos (PRRA), Potencial de Acidificación (PA), Potencial de Eutrofización (PEu), Potencial de Ecotoxicidad en Agua dulce (PEcA), Potencial de Ecotoxicidad Terrestre (PEcT) y Potencial de Formación de Oxidantes Fotoquímicos (PFOF). El impacto potencial en las categorías mencionadas se debe al proceso de obtención de estireno requerido para la producción de las perlas de EPS. En la etapa de producción, la combustión de gas natural causa el mayor impacto en las categorías de Potencial de Calentamiento Global (PCG) y Potencial de Toxicidad Humana (PTH). El Potencial de Destrucción de la Capa de Ozono (PDCO) se ve directamente afectado por la extracción y transporte del gas natural utilizado en la producción. Las etapas de distribución y fin de vida son las que menos contribuyen a los potenciales de impacto.

En el estudio se consideraron técnicas como las de *integridad* y *sensibilidad* con el objetivo de fortalecer la confianza y la fiabilidad de los resultados del ACV. *Integridad* se refiere a que toda la información relevante y los datos necesarios para la interpretación están completos y disponibles; *Sensibilidad*: los datos que presentan incertidumbre, como el peso de los vasos, consumo de gas o energía eléctrica, porcentaje de reciclaje, etc., no afectan los resultados generales de la EICV.

La conclusión del estudio para los vasos de EPS, es:

- La obtención de materias primas es la etapa del ciclo de vida que genera mayor impacto potencial, lo cual se debe al proceso de producción de estireno.
- Dentro de la etapa de producción, el uso de gas natural es lo que representa mayor impacto potencial.
- El transporte de las plantas productoras hacia el sitio de comercialización (central de abastos), es lo que genera el mayor impacto en la etapa de distribución debido a la utilización de combustibles fósiles.
- El fin de vida es la etapa de todo el ciclo que genera menos impacto potencial.

## **4.4 Impacto Ambiental y Generación de Contaminantes**

### **4.4.1 Industria papelera**

La industria del papel da lugar a una alta contaminación de grandes cantidades de agua, la cual se utiliza en el proceso de producción, también es una industria con un consumo específico de energía muy elevado.

La pasta de papel se obtiene de la madera mediante procedimientos químicos o mecánicos, o una combinación de ambos. El procedimiento químico requiere menor cantidad de energía pero es más contaminante, generando grandes cantidades de azufre y de materia orgánica que elimina el oxígeno del agua empleada; también se utilizan diversos compuestos químicos para los diferentes tratamientos que requiere la fabricación de los distintos tipos de papel, por ejemplo, el cloro que se utiliza para el blanqueado final del papel.

Los principales problemas medioambientales asociados a la producción de papel son las emisiones de contaminantes a las aguas, la atmósfera y el consumo de energía.

Las aguas residuales que provienen del proceso de fabricación de papel generalmente están cargadas de: nitrógeno y fósforo que contribuyen a la eutrofización de las aguas receptoras, metales extraídos de la madera que a pesar de estar en bajas concentraciones, debido al gran caudal de los vertidos la carga total puede ser importante, y compuestos organoclorados, colorantes, además de aumento de la temperatura del agua vertida.

Las emisiones a la atmósfera se originan en diferentes fuentes como: caldera de recuperación, horno de cal, horno de corteza, almacén de astillas de madera, lejiadora, lavado de pulpa, planta de blanqueado y tamizado; los principales contaminantes son óxidos de nitrógeno, compuestos sulfúreos como dióxido de azufre y emisiones de partículas.

#### 4.4.2 Industria de los plásticos

Como resultado de la gran variedad y complejidad de las materias primas, los procesos utilizados y los productos manufacturados en la industria de los OCPSF<sup>21</sup>, se encuentran una gran variedad de contaminantes en las aguas residuales de esta industria. Entre ellos se incluyen contaminantes convencionales como pH, DBO<sub>5</sub>, SST, aceites y grasas; y una gran variedad de contaminantes fundamentalmente tóxicos (tanto metales como compuestos orgánicos).

#### 4.4.3 Reducción de recursos

El material utilizado en los cartones para envasado de bebidas se ha reducido en 21% desde 1970, esto ha sido posible gracias a nuevos diseños.

Un cartón multicapas pesa en promedio 28g, es decir, 3% del total del producto, en el caso de leche y jugos. 600,000 cartones -de 1 un litro- vacíos caben en un camión, si utilizáramos el mismo número pero ahora para botellas de vidrio, se necesitarían 22 camiones.

Después del llenado, los cartones son de fácil acomodo, ocupando poco espacio; el efecto total en la transportación es muy significativo en la reducción de emisiones de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono.

Un debate más profundo ha tomado lugar en Alemania, pues se ha comparado con el vidrio. Esto derivó en una valoración de ciclo de vida (ACV) en 1993, la cual no determinó una conclusión de comparación, otra valoración fue comisionada en el Instituto Fraunhofer en 1999 para ser realizada en conformidad con ISO 14040.

---

<sup>21</sup> OCPSF: Organic Chemicals, Plastics, and Synthetic Fibers. Químicos Orgánicos, Plásticos y Fibras Sintéticas.

El reporte fue enviado a un panel internacional para su valoración, la conclusión fue la siguiente: Sin preferencia clara y ambigua para los envases de un solo uso.

El vidrio resultó mejor en los siguientes aspectos:

- Menor generación de residuos sólidos urbanos
- Menor consumo de agua
- Menor consumo total de energía

El cartón fue mejor en:

- Menor efecto invernadero
- Menor generación de residuos peligrosos
- Menor uso de recursos minerales
- Menor utilización de energía no renovable
- Menor acidificación del ambiente
- Menor eutrofización del ambiente

#### **4.5 Determinación de impactos**

La determinación de impactos ambientales se cuantificó tomando como unidad base una tonelada de cada una de las materias primas necesarias para la fabricación de envases laminados.

Se utilizaron los factores de emisión publicados por diversas instituciones como: IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático), EIA (Agencia Internacional de Energía), ECOINVENT, entre otras que se detallan en la bibliografía.

La Matriz de Leopold es un método cuantitativo de Evaluación de Impacto Ambiental, las columnas representan actividades como extracción, ruido, etc., y las filas representan factores ambientales como agua, aire, suelo, etc. En esta matriz se evalúa el impacto que tienen los diversos procesos del ciclo de vida de los envases multicapa, es decir, la extracción de materia prima para fabricar los diferentes componentes (celulosa, polietileno y aluminio), la utilización de energía eléctrica para la laminación y la disposición de los residuos en los diferentes factores ambientales. La matriz también será evaluada por un grupo de expertos.

Los resultados se presentan en el anexo I.

#### 4.5.1 Consideraciones

##### **Cálculos para conocer la población en 2012**

Según el censo nacional de población 2010, en México vivían 112, 337, 000 de personas, y de acuerdo con el portal “*Cuéntame INEGI*”, la Encuesta Intercensal 2015 indica que para ese año la población había aumentado a 119, 500, 000 de personas, es decir, la población se incrementó en 7 millones de habitantes, lo que equivale a 1.4% de crecimiento promedio anual. Para conocer el número de habitantes en el año 2012, se utilizará la fórmula de la interpolación:

$$y = y_a + (x - x_a) \frac{(y_b - y_a)}{(x_b - x_a)}$$

Dónde:

Años (x)	Millones de habitantes (y)
$x_a=2010$	$y_a =112.3$
$x =2012$	$y$
$x_b= 2015$	$y_b =119.5$

Encontramos que:

$$y = 115.18 \text{ millones de habitantes}$$

De acuerdo con la tabla 6 del anexo A, “*Entradas, salidas y factores de emisión*”, fabricar:

- 1 tonelada de papel tiene como efecto emitir:
  - 42 kg de contaminantes al aire
  - 18 kg de contaminantes al agua
  - 88.05 kg al suelo
  - 4,659 toneladas de CO<sub>2eq</sub>

- 1 tonelada de aluminio:
  - 37,150 toneladas de CO<sub>2eq</sub>
- 1 tonelada de PE:
  - 1,492 kg de barros rojos al suelo
  - 394.7 kg de residuos sólidos al suelo
  - 42.5 kg de contaminantes al aire
  - 2,377.8 toneladas de CO<sub>2eq</sub>

### **Cálculos para determinar la producción de envases, generación de residuos y cantidades de envases reciclados**

Conocemos las gráficas que indican el porcentaje que cada material representa en los RSU, conocemos también algunos indicadores de reciclaje, así como la población en 2010 y 2015; con esta información podremos estimar qué y cuántos residuos se generaron en el año 2012, lo cual nos ayudarán a entender mejor el impacto ambiental de los envase multicapa.

Se utiliza el año 2012 como base para todos los cálculos pues es el último año con información de acuerdo con las fuentes oficiales en el país.

Los datos de la tabla 3 permitirán calcular la producción de envases y la cantidad de envases reciclados en 2012.

	<b>Año</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
Producción total de envases y embalajes	2013	9,863,453	toneladas
Producción total de envases y embalajes	2012	9,575,197	toneladas
Producción de envases Tetra-Pak	2012	173,234	Millones de envases
Generación total de RSU en México	2012	42.1	Millones de toneladas
Generación de RSU per cápita	2012	0.9	Kg*hab/día
Porcentaje de separación de RSU	2012	11.8	%
Envases reciclados	2015	43,000	Millones de envases
Envases reciclados	2010	32,000	Millones de envases

**Tabla 3. Producción de envases y generación de RSU**

Para conocer la cantidad estimada de envases reciclados en 2012, se utilizará nuevamente la fórmula de la interpolación.

$$y = y_a + (x - x_a) \frac{(y_b - y_a)}{(x_b - x_a)}$$

Dónde:

Años (x)	Millones de envases reciclados (y)
$x_a=2010$	$y_a =32,000,000,000$
$x =2012$	$y$
$x_b= 2015$	$y_b =43,000,000,000$

Encontramos que:

$$y = 36,400 \text{ millones de envases reciclados}$$

Por otro lado, al investigar el porcentaje de RSU que corresponde únicamente a envases multicapa, se tienen tres diferentes ensayos, cada uno corresponde a diferentes universidades del país. Los tres ensayos tienen como objetivo el estudio de la generación, composición y/o caracterización de residuos, en sitios de disposición final o en localidades en Oaxaca, Nayarit y Veracruz.

Los resultados que aplican a esta tesis por el alcance son los siguientes:

- ❖ Oaxaca, Universidad Tecnológica Mixteca, 2012 “*Estudio de generación y composición de residuos sólidos en la ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca*”; 2.2% de residuos multicapa en la generación total de RSU.
- ❖ Veracruz, Facultad de Ciencias químicas, Universidad Veracruzana, 2013 “*Generación y composición de residuos sólidos domésticos en localidades urbanas pequeñas en el estado de Veracruz, México*”; 1.76% de residuos multicapa en la generación total de RSU.
- ❖ Nayarit, 2011 “*Caracterización física de los residuos sólidos urbanos y el valor agregado de los materiales recuperables en el sitio de disposición final El Iztete, Tepic, Nayarit, México*”; 0.91% de residuos multicapa en la disposición total de RSU del vertedero.

Con estos resultados y debido a la falta de información por parte de las fuentes oficiales del país, se estimará con el promedio de los porcentajes antes mencionados la presencia de envases multicapa dentro del total de RSU.

$$\% \text{ de envases multicapa en el total de RSU} = \frac{0.022 + 0.0176 + 0.0091}{3}$$

$$\% \text{ de envases multicapa en el total de RSU} = 1.62\%$$

Con esto podemos determinar las toneladas que aún falta por reciclar y las emisiones asociadas.

$$\text{cantidad total de envases multicapa generados en 2012} = (0.0162)(42.1)$$

$$\text{cantidad total de envases multicapa generados en 2012} = 0.68 \text{ millones de toneladas}$$

$$\begin{aligned} \text{cantidad total de envases multicapa generados en 2012} \\ = 682.02 \text{ millones de kg de envases multicapa} \end{aligned}$$

Según el sitio de internet de Tetra Pak en Irlanda<sup>22</sup> el precio promedio de un envase, tomando en cuenta todos los tamaños de los envases en su catálogo, es de 20 g.

Sabemos que:

- 1 envase = 20 g
- Envases reciclados 2012 = 36,400 millones de envases

$$\text{kilogramos de material multicapa reciclado} = (36,400 \times 10^6)(0.020)$$

$$\text{kilogramos de material multicapa reciclado} = 728 \text{ millones de kg}$$

Con eso se determinará la cantidad de envases generados y así se podrá conocer la cantidad restante y sus emisiones asociadas.

Sabemos que:

- 1 envase = 20 g
- Envases reciclados 2012 = 36,400 millones de envases

$$\text{cantidad de material multicapa generado} = (173,234 \times 10^6)(0.020)$$

$$\text{cantidad de material multicapa generado} = 3,464.68 \text{ millones de kg}$$

Por lo tanto:

$$\text{cantidad de material por reciclar} = 3,464.68 \times 10^6 - 728 \times 10^6$$

$$\text{cantidad de material por reciclar} = 2,736.68 \text{ millones de kg}$$

---

<sup>22</sup> Tetra Pak Irlanda: <http://www.tetrapaksustainability.ie/index.asp>

Finalmente las emisiones de Dióxido de Carbono equivalente evitadas se determinan de la siguiente forma:

Factor de emisión de Envases Multicapa<sup>23</sup> = 1,615 gCO<sub>2</sub>/kg

<b>Estatus del material (generado, reciclado, restante)</b>	<b>Cantidad de material multicapa (kg)</b>
Generado	3,464,000,000
Reciclado	728,000,000
Restante	2,736,000,000

**Tabla 4 Estatus y cantidad de material multicapa.**

$$emisiones\ evitadas\ por\ reciclar = \frac{(728 \times 10^6)(1,615)}{1 \times 10^6}$$

$$emisiones\ evitadas\ por\ reciclar = 1,175,720\ toneladas\ CO_2$$

<b>Etapas del ciclo de vida</b>	<b>Toneladas CO<sub>2</sub></b>
Extracción materias primas	44,187.25
Laminación	12,078.06
Reciclaje	1,175,720

**Tabla 5 Etapas del ciclo de vida y toneladas de CO<sub>2</sub>.**

Lo cual nos indica que en la etapa de extracción de materias primas se tiene la mayor cantidad de afectación.

---

23

Fuente: TetrapakCO<sub>2</sub>calculator, August 2016 ([http://www.tetrapak.com/environment/climate\\_change/co2footprint/carton\\_footprint/co2calculator/Pages/default.aspx](http://www.tetrapak.com/environment/climate_change/co2footprint/carton_footprint/co2calculator/Pages/default.aspx)) - Tetrapak, personal communication September 2013: Tetra Pak package with aluminium foil (such as TBA and TPA) can be approximated by Tetra Brik Aseptic 1 litre without cap

#### 4.5.2 Conclusiones de la matriz de Leopold

A continuación se presentan las actividades que se consideran las más impactantes de acuerdo con las características y acciones ambientales definidas anteriormente, es importante recordar que las acciones ambientales se especificaron de acuerdo con las actividades necesarias para la producción de los materiales que conforman los envases multicapa.

	<b>Matriz 1</b>		
<b>Características físicas y químicas</b>	<b>Agua</b>	<b>Atmósfera</b>	<b>Relaciones ecológicas</b>
Excavaciones superficiales	Excavaciones superficiales	Disposición de materiales	Perforaciones
Disposición de materiales	Control de la erosión	Pozos petroleros	Reforestación
Pozos petroleros	Pozos petroleros	Alteración de la hidrología subterránea	Recarga subterránea
Descargas municipales	Alteración de las capas del suelo superficial	Perforaciones	Descargas de líquidos
Alteración de los escurrimientos	Alteración de la hidrología subterránea	Recarga subterránea	Descargas municipales
	Perforaciones de pozos	Descargas de líquidos	Alteración de las capas del suelo superficial
	Recarga subterránea	Modificación de climas	
	Descargas municipales	Industria química	
	Alteración de los escurrimientos	Industrial del papel	
		Control de desperdicios	
		Emisiones	
		Modificación de climas	
		Generación de energía	
		Rellenos	

	<b>Matriz 2</b>		
<b>Características físicas y químicas</b>	<b>Agua</b>	<b>Atmósfera</b>	<b>Relaciones ecológicas</b>
Industrial del papel	Alteración de la hidrología subterránea	Perforaciones	Perforaciones de pozos
Disposición de materiales	Perforaciones de pozos	Talado de bosques	Disposición de materiales
Descargas de líquidos	Tratamiento de residuos	Tratamiento de residuos	Descargas municipales
Modificación de climas	Alteración de las capas del suelo superficial	Emisiones	Descargas de líquidos
Control de la erosión	Alteración de los escurrimientos	Control de desperdicios	Rellenos
Recarga subterránea	Modificación de climas	Modificación de climas	Excavaciones superficiales
Pozos petroleros	Excavaciones superficiales	Perforaciones	Pozos petroleros
Emisiones	Control de desperdicios	Control de desperdicios	
	Rellenos	Rellenos	
	Pozos petroleros		
	Perforaciones		
	Generación de energía		
	Descargas de líquidos		
	Control de la erosión		
	Disposición de materiales		
	Emisiones		

<b>Matriz 3</b>			
<b>Características físicas y químicas</b>	<b>Agua</b>	<b>Atmósfera</b>	<b>Relaciones ecológicas</b>
Talado de bosques	Industrial del papel	Emisiones	Alteración de la hidrología subterránea
Generación de energía	Rellenos	Modificación de climas	Alteración de los escurrimientos
Industria química	Perforaciones de pozos		Modificación de climas
Industrial del papel	Alteración de las capas del suelo superficial		Talado de bosques
Descargas de líquidos	Alteración de la hidrología subterránea		
Rellenos			
Disposición de materiales			

<b>Matriz 4</b>			
<b>Características físicas y químicas</b>	<b>Agua</b>	<b>Atmósfera</b>	<b>Relaciones ecológicas</b>
Perforaciones	Alteración de las capas del suelo superficial	Emisiones	Alteración de la hidrología subterránea
Excavaciones superficiales	Alteración de la hidrología subterránea	Modificación de climas	Alteración de los escurrimientos
Generación de energía	Alteración de los escurrimientos		Modificación de climas
Industria química	Excavaciones superficiales		Talado de bosques
Alteración de las capas del suelo superficial	Perforaciones de pozos		Rellenos
Alteración de la hidrología subterránea	Recarga subterránea		Descargas de líquidos
Perforaciones de pozos	Alteración de la hidrología subterránea		
Talado de bosques	Recarga subterránea		
Industrial del papel			
Rellenos			
Disposición de materiales			
Excavaciones superficiales			

Las dos primeras matrices han sido evaluadas por expertos que trabajan en el INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático), la tercer matriz fue evaluada por la M.I. Alejandra Medina quién también es la directora de esta tesis, la cuarta matriz ha sido evaluada por mí.

Podemos observar que las cuatro matrices tienen en común lo siguiente:

- Características físicas y químicas
  - Disposición de materiales, perforaciones y las descargas.
- Agua
  - Perforaciones de pozos, alteración de las capas de suelo superficial y alteración de la hidrología subterránea.
- Atmósfera
  - Emisiones, modificación de climas y el control o manejo de desperdicios.
- Relaciones ecológicas

- Alteración de los escurrimientos, descargas y perforaciones.

Las cuatro características definidas se ven mayormente afectadas por dos actividades que considero se pueden generalizar, estas actividades están totalmente relacionadas con los hábitos de consumo humanos, es decir: la extracción y disposición de materiales y/o residuos; lo que da pie a insistir en que los hábitos de consumo adoptados por los humanos están causando serio problemas medioambientales. Es necesaria una visión distinta respecto a los residuos, pues muchas veces se pueden re-aprovechar y darles una segunda vida, ya sea transformándolos en otros materiales u objetos o en el peor de los escenarios incinerarlo con recuperación de energía.

## Conclusiones

- Los envases laminados forman parte de la vida cotidiana de millones de personas en México y el mundo, mezclan las características de los diversos materiales que los componen convirtiéndolos en envases con buenas características y gran desempeño, por ejemplo: la preservación de los alimentos que contienen, la facilidad de transportación debido a la ligereza y forma y la gran área de impresión para efectos de marketing y comunicación; ahora lo que se debe desarrollar es un sistema que permita darle una segunda vida a los materiales que componen los envases, pues éstos son de gran calidad para poder contener alimentos.
- México tiene claras sus ambiciones en materia de residuos, desgraciadamente eso no es suficiente para poder hacerlas realidad y a pesar de contar desde hace tiempo - 20 años - con políticas y esquemas para el manejo integral de residuos que estimulan el reciclaje, la infraestructura actual no es suficiente para procesar las enormes cantidades de residuos que generamos, así como la falta de desarrollo de mercados de materiales reciclados y reciclables, aunado a las tampoco suficientes ni efectivas campañas de comunicación y difusión, lo que trae como consecuencia: el mal manejo de residuos sólidos, el desaprovechamiento de materiales, la emisión de contaminantes al suelo, agua y atmósfera, problemas de salud pública, el desconocimiento de la población y por ende su poca participación.
- Los residuos “limpios” son clave para aumentar la calidad de los productos en el reciclaje, lo cual se logra a partir de la separación adecuada en la fuente de generación, para esto es necesario implementar acciones de cooperación entre sociedad, industria y gobierno; también es necesario reforzar campañas de comunicación con mensajes más claros y convincentes para aumentar la participación de los ciudadanos.
- La industria del papel en México es una historia de éxito, donde se demuestra que con los mecanismos necesarios y la participación de todos, se pueden generar productos de gran calidad. Casi el 90% de la materia prima para fabricar nuevo papel es material recuperado y reciclado, todo esto es gracias a una extensa red de infraestructura creada por las empresas afiliadas a la Cámara del Papel. Situación que está siendo replicada en el PET, a través de ECOCE y las compañías afiliadas que suman esfuerzos para recolectar los envases de este material. Cada año el porcentaje de envases recuperados es mayor, entonces, así como hay

dos materiales con un buen manejo post-consumo, se pueden incrementar y reforzar estas redes para tratar el resto de los materiales reciclables.

- La falta de definición de un esquema funcional de responsabilidad en el manejo y generación de residuos, denota importantes áreas de oportunidad en materia de políticas públicas, normatividad, procesos de separación, recolección y reciclaje, así como en áreas previas a la generación de residuos, como son: eco-diseño e investigación y desarrollo de materiales.
- Una de las dificultades más importantes con las que me topé en la elaboración de esta tesis fue la falta de concentración y el retraso en la información publicada en fuentes oficiales.
- El primer estudio ACV enlistado, muestra conclusiones muy importantes sobre el mejor escenario para el manejo del PET post-consumo. El reciclaje nacional es la opción que conlleva menos efectos negativos en todas las categorías de impacto definidas. Los resultados de este estudio se convierten en un gran argumento para fomentar el desarrollo de una industria nacional de reciclaje.
- El segundo estudio se enfoca en el impacto de las etapas del ciclo de vida de los vasos desechables de PS expandido sobre distintas categorías que van desde la reducción de recursos hasta el potencial de calentamiento global, pasando por la contaminación del agua dulce y en el subsuelo. Es interesante que la etapa de fin de vida es la que menos impactos negativos tiene sobre las categorías especificadas, sin embargo es con la que más contacto estamos como consumidores, es por esto que se necesitan consumidores que tomen decisiones más responsables e informadas, que a su vez impulsen la industria a crear soluciones más amigables con el medio ambiente.
- Existe un estudio del año 1993, desarrollado en Alemania, que intenta comparar el vidrio con los cartones laminados, y el resultado es muy interesante pues no se obtuvo una conclusión definitiva sobre qué material tiene menos impacto sobre el ambiente, ya que el vidrio resultó tener ventajas que el cartón laminado no y viceversa. Esto es interesante pues muestra que siempre hay costos ambientales asociados, puede ser que uno genere más residuos y que el otro en consuma más agua, pero lo importante es estar consciente de esto para tomar decisiones informadas y adaptadas al contexto local, a las necesidades del momento y a las necesidades futuras.

- Existen dos ventajas ambientales competitivas en el uso de los materiales que conforman los envases multicapa, la primera es que no es necesaria la refrigeración de los productos perecederos, evitando la generación de impactos ambientales asociados al consumo de refrigerantes que afectan la capa de ozono y la segunda es que la fibra recuperada de los envases es de muy alta calidad, lo que hace muy atractiva su recuperación.
- Para reducir las emisiones de los envases Tetra Pak, es necesario hacer más eficiente el proceso de acopio y reciclaje, de los materiales que componen estos envases. Por ejemplo, el papel utilizado es 100% importado por dos razones, la primera está relacionada con los estándares de calidad necesarios para almacenar alimentos y la segunda con la certificación FSC.
- Para este trabajo no se contempló realizar un ACV, debido a la amplitud y precisión de este tipo de estudio, para lo cual se requiere de información puntual de los insumos materiales y energéticos necesarios para la producción así como de los residuos involucrados, información a la que no se tuvo acceso.
- Al comparar los insumos que requiere cada material que a su vez compone el envase multicapa, se puede observar lo siguiente:
  - El papel es el material que requiere más agua para su producción.
  - El proceso para fabricar plástico es el que más genera residuos y contaminantes.
  - El proceso para producir aluminio es el que más consume energía eléctrica.
- El proceso para fabricar aluminio es el que más dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) genera, seguido del proceso del papel y por último del PE; sin embargo el PE es el que más RSU produce.
- Varios de los datos utilizados son estimaciones calculadas con el método de interpolación, ya que se contaba con datos anteriores y posteriores al año de estudio, lo más relevante de este trabajo fue dimensionar los impactos ambientales de las actividades de producción y disposición final de los envases.
- Los estudios consultados permiten darnos una idea de la cantidad de envases multicapa en la composición de RSU; estos estudios se realizan en distintas ciudades del país (Huajuapán de León, Oaxaca; Veracruz y Tepic, Nayarit). En promedio, de acuerdo con los resultados

de los estudios mencionados, los envases multicapa representan el 1.62% de los RSU, podría parecer despreciable pero no hay que olvidar que las materias primas que los constituyen son altamente valorizables debido a la calidad de los materiales y los requisitos que deben cumplir ya que estos envases sirven para almacenar alimentos para el consumo humano.

- Mi aportación como ingeniera industrial a toda esta problemática radica en mi capacidad de análisis y de integración de la información disponible para poder identificar las áreas de oportunidad y contribuir en el diseño de los planes de acción que solucionarán la situación expuesta. Durante mi formación en la Facultad de Ingeniería, aprendí sobre procesos industriales, tecnología de materiales, diseño de sistemas productivos, procesos de manufactura, sistemas de calidad, sistemas de mejoramiento ambiental, evaluación de proyectos de inversión, envase y embalaje y reingeniería de sistemas, entre otras que me brindan las herramientas necesarias para comprender la raíz del problema así como a diseñar soluciones.

## Recomendaciones

- Considero que la UNAM debe incluir dentro de sus planes de estudio de licenciatura, en especial la Facultad de Ingeniería, más asignaturas relacionadas con temas de desempeño ambiental y sustentabilidad. El compromiso de México con la agenda internacional en materia de medio ambiente y cambio climático exige profesionistas preparados para enfrentar los retos que estamos afrontando desde este momento.
- A nivel de políticas públicas es importante que exista mayor participación de ingenieros que puedan diseñar planes de acción y empleen métodos de mejora continua que reflejen el esfuerzo y los recursos invertidos. Su capacidad de análisis y síntesis es necesaria para robustecer las leyes y normas que dictarán las acciones de los gobiernos, sociedad y sector privado.
- Es preciso trabajar en un sistema útil y eficaz en el cual los residuos se reaprovechen y se reincorporen a diversos procesos productivos, generando ciclos en lugar de sistemas lineales de producción, así como elaborar o conjuntar sistemas de información de residuos actualizados.
- Para que México pueda lograr sus objetivos de reducción de GEI, es necesario fortalecer la realización de estudios ACV en los diferentes sectores productivos del país, pues si no se conoce el estado actual de desempeño ambiental será muy difícil mejorar y aumentar la competitividad.
- Cada etapa del proceso de producción tiene áreas de oportunidad que permiten minimizar costo e impactos ambientales. Para su correcta gestión es muy importante ampliar el horizonte de búsqueda, es decir, no limitarse al proceso *per-se* en la línea de producción, o las instalaciones de la planta, hay muchas oportunidades en procesos previos, por ejemplo: actualización/implementación de nuevo equipo con tecnología de punta.
- México necesita reforzar el seguimiento y aplicación de los indicadores ambientales implementados, éstos deben tomar en cuenta la problemática específica de cada comunidad; una vez revisados e implementados, se deberán observar mejoras y nuevas áreas de oportunidad, generando así la ejecución de un sistema de mejora continua y totalmente adaptado al entorno y contexto.

- Es necesario impulsar la implementación del “Eco-diseño”, tanto en los productos como en sus envases y embalajes, los departamentos de innovación y desarrollo deben comenzar a tomar en consideración lo que sucederá con esos materiales una vez que termine su vida útil. Las empresas deben adoptar una forma de trabajo basada en ciclos, en donde las mermas o residuos sean reincorporados a los procesos o se garantice darles una segunda vida. También se debe invertir en la investigación, hay que encontrar formas de transformar los materiales en otros productos útiles para la sociedad.
- Los hábitos de consumo son un factor clave en la generación de residuos. Es importante reflexionar sobre estos, pues el costo ambiental asociado es muy grande, cada día se generan nuevas alternativas que ayudan a mitigar la generación de envases y embalajes relacionados con la adquisición de bienes y servicios.

## Definiciones

**Análisis Ciclo de Vida:** Herramienta clave para la evaluación de potenciales impactos ambientales, así como para la generación de información científico-técnica útil para la orientación de la política y legislación ambiental. INECC

**Desarrollo Sustentable:** Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades. El desarrollo sostenible se basa en tres factores: sociedad, economía y ambiente. Comisión Brundtland, Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas.

**Disposición final:** Norma Oficial Mexicana-03 de SEMARNAT para especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial: acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.

Un sitio de disposición final será aquel lugar donde se depositan los residuos sólidos urbanos y de manejo especial de forma definitiva.

**Grado alimenticio:** Cualquier material puede ser grado alimenticio cuando no contamina los alimentos con sustancias dañinas cuando entra en contacto directo o se encuentra cerca. Las guías de calidad para el grado alimenticio se encuentran enlistadas en la página del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA) y el Servicio de Inspección y Seguridad Alimentaria (FSIS).

**Impacto ambiental:** Conjunto de posibles efectos negativos sobre el medio ambiente de una modificación del entorno natural, como consecuencia de obras u otras actividades. RAE

**Indicador:** Dato o información que sirve para conocer o valorar las características y la intensidad de un hecho o para determinar su evolución futura.

**Multicapa:** Compuesto de varias capas.

**Organoléptico:** Propiedad de un cuerpo que se puede percibir por los sentidos. RAE

**Plan de manejo ambiental:** Instrumento producto de una evaluación ambiental, que de manera detallada, establece las acciones que se implementarán para prevenir, mitigar, rehabilitar o compensar los impactos negativos que cause el desarrollo de un proyecto, obra o actividad.

**Reciclaje:** Someter un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar.

**RSU:** Residuos sólidos urbanos

**Reutilización:** Volver a utilizar algo, bien con la función que desempeñaba anteriormente o con otros fines.

**Tratamiento:** Modo de trabajar con ciertas materias para su transformación

# Anexo A

Tabla 6 Estimación de emisiones de Dióxido de Carbono

MATERIAL	ENTRADAS			FACTOR DE EMISION	UNIDADES	EMISIONES CO2eq		SALIDAS		
	INSUMO	CANTIDAD	UNIDADES			gCO2	TCO2	CONTAMINANTES	CANTIDAD	UNIDADES
PAPEL	Madera	1804.06	kg	76	gCO2/kg	137108.56	137.11	Aire	42.02	kg
	Cal	108.06	kg	750	gCO2/kg cal	81045.00	81.05	Agua	18.01	kg
	Sulfato de Sodio	180.11	kg					Suelo	88.05	kg
	Carbonato de Sodio	38.02	kg	136	gCO2/kg Na2CO3	5170.72	5.17			
	Energía eléctrica	7000	KWh	633.66	gCO2/kWh	4435620.00	4435.62	<b>Total CO2eq</b>	<b>4658.94 t</b>	
	Agua	100114.8	l							
ALUMINIO	Bauxita	4385.63	kg	NE				Tricloroetano		
	Coque	510.31	kg	560	gCO2/kg coque	285773.60	285.77	Aceta		
	Carbonato de Sodio									
	Anhidro	483.29	kg	415	gCO2/kg carbonato	200565.35	200.57	Cloruro de Metileno		
	Cal	119.07	kg	750	gCO2/kg cal	89302.50	89.30	Metil Etil Ceta		
	Energía eléctrica	57720	KWh	633.66	gCO2/kWh	36574855.20	36574.86	Estireno		
PLÁSTICO	Dióxido de Sodio	438	kg	NE				Tolueno		
	Petróleo	2000	kg	279.6	gCO2/kWh	559200.00	559.20	Benceno		
	Energía eléctrica	2870	KWh	633.66	gCO2/kWh	1818604.20	1818.60	1,1,1 Tricloroetano		
	Agua	3283.18	l					Óxidos de azufre		
								Óxidos nitrosos		
								Metanol		
							Óxido de etileno			
							Compuestos orgánicos volátiles			
							Emisiones a la atmósfera			
							Efluentes			
							Residuos sólidos			
							Residuos peligrosos			
							<b>Total CO2eq</b>	<b>37150.50 t</b>		
							Barros rojos	1492	kg	
							CO2	1315	kg	
							Contaminantes al aire	40.52	kg	
							Residuos sólidos	394.74	kg	
							<b>Total CO2eq</b>	<b>2377.80 t</b>		
							<b>TOTAL=</b>	<b>44187245.13</b>	<b>44187.25</b>	

**Matriz de Leopold.**

En este anexo se presentan las cuatros matrices de Leopold que fueron utilizadas para determinar las actividades con mayor impacto. Las dos primeras matrices fueron elaboradas por expertos que trabajan en el INECC, la tercera matriz fue construida por la Mtra. Alejandra Medina Arévalo, directora de esta tesis y la cuarta fue hecha por mí.

# Matriz de Leopold 1

Calificación 1-10	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS					AGUA			ATMÓSFERA			RELACIONES ECOLÓGICAS		
	Recursos minerales	Suelos	Perfiles de suelo	Superficial	Subterránea	Calidad	Recarga	Calidad	Clima	Temperatura	Salinización de los recursos acuíferos	Eutrofización	Abusos	
<b>MODIFICACIÓN DEL RÉGIMEN</b>														
Alteración de las capas del suelo superficial	6	4	4	4	9	7	6	1	4	2	7	7	5	
Alteración de la hidrología subterránea	5	7	6	5	8	6	5	8	1	8	2	3	5	
Alteración de los escurrimientos	7	8	7	8	7	7	8	4	5	7	6	5	7	
Modificación de climas	7	4	4	3	3	3	2	5	8	8	1	4	6	
<b>RECURSOS</b>														
Perforaciones	7	5	6	6	4	5	6	8	3	1	8	6	7	
Excavaciones superficiales	8	7	4	8	7	5	3	6	3	2	6	2	6	
Perforaciones de pozos	6	3	3	7	8	8	8	2	7	5	4	4	5	
Talado de bosques	3	6	7	4	7	3	6	1	5	7	4	2	7	
<b>PROCESOS</b>														
Generación de energía	6	5	2	3	5	4	4	4	4	8	2	6	5	
Industria química	7	1	7	2	6	1	6	7	8	5	1	4	4	
Industrial del papel	4	4	6	6	2	7	2	4	8	8	4	6	6	
<b>ALTERACIÓN DEL SUELO</b>														
Control de la erosión	5	4	4	8	4	7	3	7	4	5	5	3	6	
Control de desperdicios	4	5	5	4	7	5	6	4	8	8	3	2	6	
<b>RENOVACIÓN DE LOS RECURSOS</b>														
Reforestación	6	5	4	4	6	4	2	1	7	4	8	3	4	
Recarga subterránea	4	4	3	5	8	5	7	9	5	5	8	5	3	
Tratamiento de residuos	6	7	6	6	2	4	5	6	6	2	7	5	3	
<b>DISPOSICIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS</b>														
Rellenos	5	5	6	7	6	5	7	5	2	8	3	7	7	
Disposición de materiales	8	6	3	7	7	5	6	8	2	8	3	6	1	
Pozos petroleros	9	6	8	6	8	5	7	8	3	3	3	5	7	
Descargas municipales	8	7	3	6	7	6	9	3	6	2	6	7	5	
Descargas de líquidos	4	7	7	4	7	6	7	8	6	6	8	5	6	
Emissiones	2	5	6	6	5	3	7	5	9	3	4	3	9	
<b>Subtotales</b>	<b>127</b>	<b>117</b>	<b>111</b>	<b>119</b>	<b>133</b>	<b>111</b>	<b>122</b>	<b>114</b>	<b>114</b>	<b>115</b>	<b>103</b>	<b>100</b>	<b>120</b>	
máxima	133													
mínima	100													

## Matriz de Leopold 2

Calificación 1-10	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS				AGUA			ATMÓSFERA			RELACIONES ECOLÓGICAS		
	Recursos minerales	Suelos	Perfiles de suelo	Superficial	Subterránea	Calidad	Recarga	Calidad	Clima	Temperatura	Salinización de los recursos acuíferos	Eutrofización	Abusos
<b>MODIFICACIÓN DEL RÉGIMEN</b>													
	3	6	5	2	8	3	1	5	1	2	6	3	1
Alteración de las capas del suelo superficial	4	6	8	8	7	5	5	6	2	2	7	6	3
Alteración de la hidrología subterránea	2	4	7	4	9	1	6	4	2	6	7	5	4
Modificación de climas	4	5	9	3	9	1	6	6	4	8	6	4	2
<b>RECURSOS</b>													
Perforaciones	6	8	4	2	7	9	2	8	2	8	3	5	4
Excavaciones superficiales	4	5	7	1	8	5	7	3	6	6	2	6	8
Perforaciones de pozos	1	2	5	9	5	8	2	3	5	7	8	4	2
Talado de bosques	1	8	3	1	1	6	5	8	3	7	4	4	2
<b>PROCESOS</b>													
Generación de energía	5	5	3	3	1	8	2	7	5	2	4	5	1
Industria química	1	1	2	4	1	4	7	1	7	7	5	5	6
Industrial del papel	8	1	8	6	4	3	5	1	7	4	2	5	7
<b>ALTERACIÓN DEL SUELO</b>													
Control de la erosión	6	4	9	1	4	1	8	2	5	7	3	2	3
Control de desperdicios	7	8	7	7	9	4	1	6	8	8	6	4	4
<b>RENOVACIÓN DE LOS RECURSOS</b>													
Reforestación	2	7	4	6	4	3	2	7	2	2	6	5	7
Recarga subterránea	6	3	9	1	6	6	5	5	4	4	7	6	7
Tratamiento de residuos	7	4	6	9	7	4	5	8	2	6	6	7	3
<b>DISPOSICIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS</b>													
Rellenos	6	7	1	6	8	8	5	3	4	8	2	7	8
Disposición de materiales	8	2	5	1	1	4	8	4	4	1	8	3	4
Pozos petroleros	1	2	9	6	8	4	3	1	2	5	2	7	8
Descargas municipales	4	4	1	2	4	4	2	3	5	6	8	1	6
Descargas de líquidos	7	9	1	5	5	8	4	3	4	5	8	7	2
Emissiones	4	1	9	6	6	6	8	8	3	5	6	5	5
<b>Subtotales</b>	<b>97</b>	<b>102</b>	<b>122</b>	<b>93</b>	<b>122</b>	<b>105</b>	<b>99</b>	<b>102</b>	<b>87</b>	<b>116</b>	<b>116</b>	<b>106</b>	<b>97</b>
máxima	122												
mínima	87												

### Matriz de Leopold 3

Calificación 1-10	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS				AGUA			ATMÓSFERA			RELACIONES ECOLÓGICAS		
	Recursos minerales	Suelos	Perfiles de suelo	Superficial	Subterránea	Calidad	Recarga	Calidad	Clima	Temperatura	Salinización de los recursos acuíferos	Eutrofización	Abusos
<b>MODIFICACIÓN DEL RÉGIMEN</b>													
	6	7	8	8	8	10	8	5	6	7	4	8	
Alteración de las capas del suelo superficial	7	8	9	8	8	10	8	6	4	8	2	7	
Alteración de la hidrología subterránea	5	8	8	7	9	9	8	4	2	8	5	6	
Alteración de los escurrimientos	5	6	2	7	8	9	8	9	10	7	7	6	
<b>RECURSOS</b>													
Perforaciones	9	8	8	9	8	8	7	6	3	2	2	7	
Excavaciones superficiales	8	8	8	9	7	7	7	7	3	2	4	8	
Perforaciones de pozos	8	9	8	7	10	3	6	8	2	2	2	8	
Talado de bosques	10	10	10	8	9	8	9	8	8	8	6	9	
<b>PROCESOS</b>													
Generación de energía	10	2	1	6	2	5	2	9	8	6	4	3	7
Industria química	10	9	9	9	6	8	4	8	7	7	7	4	8
Industrial del papel	10	10	9	10	7	9	6	8	3	3	7	4	8
<b>ALTERACIÓN DEL SUELO</b>													
Control de la erosión	5	7	7	1	7	7	7	6	5	5	6	2	1
Control de desperdicios	8	9	8	8	7	7	7	5	2	2	5	2	1
<b>RENOVACIÓN DE LOS RECURSOS</b>													
Reforestación	1	1	1	4	7	6	5	9	9	8	1	1	3
Recarga subterránea	4	5	6	3	10	8	8	6	3	3	1	1	3
Tratamiento de residuos	4	6	5	6	4	5	4	8	2	2	5	5	7
<b>DISPOSICIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS</b>													
Rellenos	5	10	10	10	9	9	9	7	2	2	5	2	8
Disposición de materiales	4	10	10	9	9	9	9	8	2	2	6	6	8
Pozos petroleros	8	9	9	7	8	8	6	5	3	3	5	4	7
Descargas municipales	9	8	8	9	7	9	8	6	3	5	6	5	7
Descargas de líquidos	10	9	9	9	8	9	8	4	2	2	5	5	8
Emissiones	8	8	8	8	3	8	7	10	9	9	2	1	8
<b>Subtotales</b>	<b>154</b>	<b>167</b>	<b>161</b>	<b>162</b>	<b>161</b>	<b>171</b>	<b>153</b>	<b>152</b>	<b>95</b>	<b>98</b>	<b>111</b>	<b>75</b>	<b>143</b>
máxima	171												
mínima	75												

# Matriz de Leopold 4

Calificación 1-10	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS				AGUA			ATMÓSFERA			RELACIONES ECOLÓGICAS		
	Recursos minerales	Suelos	Perfiles de suelo	Superficial	Subterránea	Calidad	Recarga	Calidad	Clima	Temperatura	Salinización de los recursos acuíferos	Eutrofización	Abusos
<b>MODIFICACIÓN DEL RÉGIMEN</b>													
	9	10	10	10	7	8	9	4	6	7	6	3	7
Alteración de las capas del suelo superficial	8	10	8	10	10	10	10	2	2	3	9	2	8
Alteración de la hidrología subterránea	5	8	8	10	9	9	7	2	2	1	9	5	6
Alteración de los escurrimientos	5	7	1	7	9	9	8	9	10	10	7	7	8
<b>MODIFICACIÓN DE CLIMAS</b>													
<b>RECURSOS</b>													
Perforaciones	10	10	10	9	10	7	5	3	2	2	2	2	7
Excavaciones superficiales	10	10	10	10	7	7	7	4	2	2	3	2	8
Perforaciones de pozos	8	10	10	7	10	3	6	2	1	1	2	2	6
Talado de bosques	9	10	10	7	9	8	9	8	8	8	6	6	9
<b>PROCESOS</b>													
Generación de energía	10	2	1	8	2	4	2	7	6	6	4	3	7
Industria química	10	9	9	9	5	7	4	7	7	7	6	4	8
Industria del papel	1	10	9	8	6	7	4	4	3	3	4	4	7
<b>ALTERACIÓN DEL SUELO</b>													
Control de la erosión	3	6	8	1	7	6	7	4	5	5	2	2	1
Control de desperdicios	1	1	1	8	7	7	7	3	2	2	3	2	1
<b>RENOVACIÓN DE LOS RECURSOS</b>													
Reforestación	1	1	1	4	7	5	9	9	9	8	1	1	1
Recarga subterránea	3	6	6	3	10	8	10	4	3	3	1	1	1
Tratamiento de residuos	1	1	1	5	4	7	7	3	2	2	5	5	5
<b>DISPOSICIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS</b>													
Rellenos	3	10	10	9	9	9	9	2	2	2	2	2	9
Disposición de materiales	3	10	10	9	9	9	9	3	2	2	3	2	8
Pozos petroleros	7	9	9	7	8	8	4	4	3	3	3	2	5
Descargas municipales	8	8	8	9	6	9	7	3	3	2	4	5	8
Descargas de líquidos	8	9	9	9	8	9	7	2	2	2	5	3	9
Emisiones	6	5	7	8	3	8	6	10	10	10	2	1	7
<b>Subtotales</b>	<b>129</b>	<b>162</b>	<b>156</b>	<b>167</b>	<b>162</b>	<b>164</b>	<b>153</b>	<b>99</b>	<b>92</b>	<b>91</b>	<b>89</b>	<b>66</b>	<b>136</b>
máxima	167												
mínima	66												

## Referencias

### Web

- [http://www.tetrapak.com/es/SiteCollectionDocuments/Informe\\_Sostenibilidad/Informe\\_Sostenibilidad\\_01.pdf](http://www.tetrapak.com/es/SiteCollectionDocuments/Informe_Sostenibilidad/Informe_Sostenibilidad_01.pdf)
- [http://www.tetrapak.com/es/SiteCollectionDocuments/Informe\\_Sostenibilidad/Informe\\_Sostenibilidad\\_03.pdf](http://www.tetrapak.com/es/SiteCollectionDocuments/Informe_Sostenibilidad/Informe_Sostenibilidad_03.pdf)
- [http://www.tetrapak.com/es/SiteCollectionDocuments/Informe\\_Sostenibilidad/Informe\\_Sostenibilidad\\_05.pdf](http://www.tetrapak.com/es/SiteCollectionDocuments/Informe_Sostenibilidad/Informe_Sostenibilidad_05.pdf)
- [http://www.tetrapak.com/es/SiteCollectionDocuments/Informe\\_Sostenibilidad/Informe\\_Sostenibilidad\\_06.pdf](http://www.tetrapak.com/es/SiteCollectionDocuments/Informe_Sostenibilidad/Informe_Sostenibilidad_06.pdf)
- [http://www.tetrapak.com/es/SiteCollectionDocuments/Informe\\_Sostenibilidad/Informe\\_Sostenibilidad\\_08.pdf](http://www.tetrapak.com/es/SiteCollectionDocuments/Informe_Sostenibilidad/Informe_Sostenibilidad_08.pdf)
- [http://www.tetrapak.com/es/SiteCollectionDocuments/Informe\\_Sostenibilidad/Informe\\_Sostenibilidad\\_11.pdf](http://www.tetrapak.com/es/SiteCollectionDocuments/Informe_Sostenibilidad/Informe_Sostenibilidad_11.pdf)
- <http://www.fotonostra.com/grafico/funcionesenvase.htm>
- <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lpggir.htm>
- <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgeepa.htm>
- [http://www.icesi.edu.co/blogs\\_estudiantes/mercadeosostenible\\_andrea\\_osorio/2012/09/20/ciclo-de-vida-del-producto-tetra-pack/](http://www.icesi.edu.co/blogs_estudiantes/mercadeosostenible_andrea_osorio/2012/09/20/ciclo-de-vida-del-producto-tetra-pack/)
- [http://www.gemi.org.mx/files/01\\_davilatetrapakgemi.pdf](http://www.gemi.org.mx/files/01_davilatetrapakgemi.pdf)
- <http://www.tetrapak.com/mx/environment/bosquesyfsc/directrizsobremanejodebosques>
- <http://www.giz.de/en/worldwide/306.html>
- [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5299465&fecha=20/05/2013](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5299465&fecha=20/05/2013)
- <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1306/1/nom-083-semarnat-2003.pdf>
- <http://www.camaradelpapel.mx/noticias/plan-de-manejo-para-los-residuos-de-papel-y-carton-en-mexico/>
- [https://camaradelpapel.net/CamaraPapel/archivos/PlanManejo\\_IMPRESO.pdf](https://camaradelpapel.net/CamaraPapel/archivos/PlanManejo_IMPRESO.pdf)
- [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5063352&fecha=09/10/2008](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5063352&fecha=09/10/2008)
- [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5299465&fecha=20/05/2013](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5299465&fecha=20/05/2013)
- [http://www.inecc.gob.mx/descargas/sqre/2013\\_acv\\_pet.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/sqre/2013_acv_pet.pdf)
- <http://www.conservacioncarbono.com/analisis-del-ciclo-de-vida-iso-14040>
- [http://www.icesi.edu.co/blogs\\_estudiantes/mercadeosostenible\\_andrea\\_osorio/2012/09/20/ciclo-de-vida-del-producto-tetra-pack/](http://www.icesi.edu.co/blogs_estudiantes/mercadeosostenible_andrea_osorio/2012/09/20/ciclo-de-vida-del-producto-tetra-pack/)
- [http://www.gemi.org.mx/files/01\\_davilatetrapakgemi.pdf](http://www.gemi.org.mx/files/01_davilatetrapakgemi.pdf)
- <http://www.tetrapak.com/mx/environment/bosquesyfsc/directrizsobremanejodebosques>
- <http://www.giz.de/en/worldwide/306.html>
- [http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/ana\\_merca\\_mat\\_virgenes\\_reciclados.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/ana_merca_mat_virgenes_reciclados.pdf)
- <http://www.ciceana.org.mx/recursos/Reciclaje%20de%20residuos%20solidos.pdf>
- <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lpggir.htm>

- <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgeepa.htm>
- <http://www.semarnat.gob.mx/residuos-solidos-urbanos-y-de-manejo-especial>
- <http://www.sig.biz/sig-global/es/compania/historia/>
- [http://www.conecta3.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Resource/1592/1/images/book\\_trazoverde\\_guia\\_anexos\\_FINAL.pdf](http://www.conecta3.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Resource/1592/1/images/book_trazoverde_guia_anexos_FINAL.pdf)
- <http://www.camaradelpapel.mx/noticias/plan-de-manejo-para-los-residuos-de-papel-y-carton-en-mexico/>
- <http://www.oecd.org/centrodemexico/publicaciones/medioambiente.htm>
- [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores13/conjuntob/indicador/04\\_residuos/4\\_2.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores13/conjuntob/indicador/04_residuos/4_2.html)
- [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores13/conjuntob/04\\_res\\_solidos/04\\_res\\_solidos\\_esquem.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores13/conjuntob/04_res_solidos/04_res_solidos_esquem.html)
- <http://www.oecd.org/env/waste/prevention-minimisation.htm>
- [http://search.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=env/epoc/ppc\(2000\)5/final](http://search.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=env/epoc/ppc(2000)5/final)
- <http://www.iso.org/iso/home/standards/management-standards/iso14000.htm>
- [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D3\\_RSM01\\_03&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_RSM01_03&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce)
- [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D3\\_RSM01\\_09\\_D&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_RSM01_09_D&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce)
- <http://www.bancomext.gob.mx/Bancomext/secciones/menu-inferior/glosario/E.html>
- <http://www.unep.org/resourceefficiency/Consumption/StandardsandLabels/MeasuringSustainability/LifeCycleAssessment/tabid/101348/Default.aspx>
- <http://www.colmex.mx/academicos/cedua/mariap/pdfs/Articulos/2013-La%20evaluaci%C3%B3n%20del%20impacto%20ambientaly%20la%20importancia%20de%20los%20indicadores%20ambientales.pdf>
- <http://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/CyT6/6CyT%2005.pdf>
- Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos  
Nelson Leonard NEmerow, Avijit Dasgupta Ediciones Díaz de Santos, 1998  
<http://books.google.com.mx/books?id=KDMjTWMEuaoC&pg=PA621&dq=contaminaci%C3%B3n+del+proceso+de+producci%C3%B3n+de+plasticos&hl=es&sa=X&ei=QXotVPrAI0uX7Qaj3IDIAw&ved=0CCwQ6AEwAg#v=onepage&q=contaminaci%C3%B3n%20del%20proceso%20de%20producci%C3%B3n%20de%20plasticos&f=false>
- <http://water.epa.gov/scitech/wastetech/guide/ocpsf/>
- <http://www2.epa.gov/safepestcontrol>
- [http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/oldeditions/5th\\_edition/ap42\\_5thed\\_orig.pdf](http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/oldeditions/5th_edition/ap42_5thed_orig.pdf)
- [http://www.prominent.com.mx/desktopdefault.aspx/tabid-5752/211\\_read-3155/](http://www.prominent.com.mx/desktopdefault.aspx/tabid-5752/211_read-3155/)
- <http://www.packaging.enfasis.com/articulos/68958-la-industria-envase-y-embalaje-mexico>
- [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores14/conjuntob/indicador/04\\_residuos/4\\_1.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores14/conjuntob/indicador/04_residuos/4_1.html)
- [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores14/conjuntob/indicador/04\\_residuos/4\\_2.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores14/conjuntob/indicador/04_residuos/4_2.html)
- [www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/download/43521/39679](http://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/download/43521/39679)
- [http://www.tetrapaksustainability.ie/tp\\_faqs\\_business.asp](http://www.tetrapaksustainability.ie/tp_faqs_business.asp)
- <https://repak.ie/for-consumers/facilities-search/>
- <http://www.tetrapaksustainability.ie/index.asp>

- [http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_resumen14/07\\_residuos/7\\_1\\_1.html](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/07_residuos/7_1_1.html)
- [http://ponce.sdsu.edu/la\\_matriz\\_de\\_leopold.html](http://ponce.sdsu.edu/la_matriz_de_leopold.html)
- <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=21385>
- <http://www.gemi.org.mx/?a=2510>
- <http://www.sustenta.org.mx/>
- [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lpggir/LGPGIR\\_ref07\\_19mar14.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lpggir/LGPGIR_ref07_19mar14.pdf)
- <http://www.oecd.org/centrodemexico/temas/>
- <http://info4.juridicas.unam.mx/juslab/leylab/250/28.htm>
- <http://www.anipac.com.mx/>

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Kirwan, M. J. (2013) Paperboard-based liquid packaging, in Handbook of Paper and Paperboard Packaging Technology, Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd, Oxford.
- André, P., C. E. Delisle y J. P. Revéret (2004), Environmental Assessment for Sustainable Development: Processes, Actors and Practice, Montreal, Presses Internationales Polytechniques, pp. 52, 54, 157
- Julio Montes Ponce de León. (2001). Medio ambiente y desarrollo sostenido. Madrid: Universidad Pontificia de Comillas  
<http://www.prtres.es/data/images/Resumen%20Ejecutivo%20BREF%20Pasta%20y%20Papel-C01ECC9B7FD0DB66.pdf>
- Dasgupta, Avijit Nemerow, Nelson Leonard (1998), Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos, Ediciones Díaz de Santos  
<http://books.google.com.mx/books?id=KDmjTWMEuaoC&pg=PA621&dq=contaminaci%C3%B3n+del+proceso+de+producci%C3%B3n+de+plasticos&hl=es&sa=X&ei=QXotVPrAIouX7Qaj3IDIAw&ved=0CCwQ6AEwAg#v=onepage&q=contaminaci%C3%B3n%20del%20proceso%20de%20producci%C3%B3n%20de%20plasticos&f=false>