

Plan Nacional de Manejo de Residuos de EPS



Índice

CONSTANCIA SEMARNAT	3	PROPUESTA DE MANEJO	22
INTRODUCCIÓN	4	Casos Particulares	23
INFORMACIÓN GENERAL	5	Principio Precautorio	23
Proponente	5	METAS DE COBERTURA	24
Datos generales del proponente	5	Destino final del residuo	25
Modalidad	5	OPERACIÓN, CONTROL, MONITOREO, EVALUACIÓN Y MEJORA	28
Participantes	5	DIFUSIÓN Y COMUNICACIÓN A LA SOCIEDAD EN GENERAL	28
Residuo Objeto del plan	6	ACCIONES DE PARTICIPACIÓN	29
PROCESO PRODUCTIVO	7	Generadores	29
Fabricación	7	Productores	29
Preformado	10	Recicladores	29
Maduración	10	Aliados estratégicos	29
Espumado final	10	ETIQUETADO	30
Panorama de la industria	10	MECANISMOS DE ADHESIÓN AL PLAN DE MANEJO	31
Usos	12	MEMORIA DE CÁLCULO	32
Balance del proceso productivo	13	Página 10	32
Residuos generados en la producción	13	Página 12	33
MANEJO ACTUAL DEL RESIDUO	14	Página 17	34
Distribución	14	Páginas 18 y 19	35
Desecho	14	Cálculos	36
Reutilización	14	DOCUMENTOS	37
Reciclaje	14	GLOSARIO	41
Infraestructura	17	NOMENCLATURAS	43
DIAGNÓSTICO DEL RESIDUO	19	BIBLIOGRAFÍA	44
Cadena productiva del material	19	TABLA DE ILUSTRACIONES	46
Identificación del potencial de aprovechamiento	20		
Formas de manejo identificadas	21		
Material no recuperable	21		
Limitación geográfica	21		

SEMARNAT
SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



 **Plan de Manejo de
Residuos de Manejo
Especial**

Folio Núm. PM-ROTR-018-2018

CONSTANCIA

Que otorga la Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental a:

Tecnologías Rennueva S.A. de C.V.

Por la presentación de su plan de manejo en la modalidad mixto,
colectivo y de ámbito nacional de acuerdo a lo establecido en la
Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011

**PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS DE POLIESTIRENO
EXPANDIDO EN MÉXICO**

México D.F. a 26 de junio de 2018.


C.P. Jorge Carlos Hurtado Valdez
Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental

Introducción

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, LGPGIR, cuya última actualización publicada en el Diario Oficial de la Federación tiene fecha del 22 de mayo de 2015, establece; con el fin de garantizar a toda persona un medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable, los términos para la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

Esta ley, en su capítulo segundo, define que el instrumento que establecerá los procedimientos para este fin, será un plan de manejo.¹ Así mismo, en el artículo 28, se definen a los sujetos obligados a la formulación y ejecución de estos, particularmente en su párrafo III, se indica lo siguiente:

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 Poliestireno expandido; así como los importadores y distribuidores de neumáticos usados, bajo los principios de valorización y responsabilidad compartida.²

Por otro lado, el artículo 30 de esta Ley, establece que se hará uso de las Normas Oficiales vigentes como addendum y guía para la formulación de los mismos planes de manejo, además de garantizar que estos mismos funcionen como instrumento de control para cumplir los objetivos de la Ley.

La Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.³

Durante 2016, Tecnologías Rennueva inicia operaciones de acopio de material de Poliestireno Expandido, por lo que gestiona ante la SEDEMA de la Ciudad de México su plan de manejo con folio de registro CDMX-SEDEMA-PMRCL-180/2016

Al ser este un marco normativo reciente, debido a la constante evolución de las tecnologías y nuevos productos y con el fin de brindar y cubrir los objetivos de disminución de impacto ambiental, nace la necesidad de presentar un plan de manejo a nivel Federal de residuos para el Poliestireno Expandido.

El Poliestireno expandido es un material muy versátil y con muchas aplicaciones. Su producción eficiente permite que destaque en diversos mercados: embalaje, hospitalario, construcción, uso alimenticio, etc.⁴ Por esta misma razón y aunado a que en muchos casos, por cuestiones de higiene o socioeconómicas no permiten la existencia de un sucedáneo, hacen que su consumo y distribución sea amplia.

En nuestro país el tema de reciclaje hasta hace unos años era un tema desconocido, sin embargo, en poco tiempo se ha convertido en el tema innovador y al menos en la capital del país se han implementado mecanismos legales en los que se estipula la separación de residuos como una obligación no solo de productores sino también de los ciudadanos.

Desgraciadamente, estas prácticas aún son incipientes a tal grado que en el país se siguen importando desechos reciclados de otros países, aunado a un déficit en la producción de plásticos.⁵

1 (H. Congreso de la Unión 2015, Art. 27)
2 Ibid, Art 28
3 (SEMARNAT 2013)
4 (Ortiz 2014)
5 (Morales 2013)

Información General

Proponente

El proponente del presente plan es Tecnologías Rennueva S.A. de C.V

El presente Plan considera la participación de las empresas que suscriben el presente, así como aquellas que en un futuro se adhieran al mismo mediante los mecanismos pertinentes.

Datos generales del proponente

Razón Social: Tecnologías Rennueva S.A. de C.V.

Domicilio: Mimosas 63, Col. Santa María Insurgentes, Delegación Cuauhtémoc, C.P. 06430, México, D.F.

RFC: TRE141015FE6

Representante Legal: Héctor Arturo Ortiz Chávez

Modalidad

El presente plan de manejo es de carácter Mixto, Colectivo y Nacional.

- Mixto, por contar con la participación de entes gubernamentales y privados.
- Colectivo, al contar con la participación de los diferentes eslabones dentro de la cadena de valor del material.
- Nacional, ya que se pretende tener este rango de cobertura

Participantes

Razón Social: Rennueva, S.A. de C.V.

Domicilio: Mimosas 63, Col. Santa María Insurgentes, Delegación Cuauhtémoc, C.P. 06430, México, D.F.

RFC: TRE141015FE6

Representante Legal: Héctor Arturo Ortiz Chávez

Razón Social: Dart de México, S. de R.L. de C.V.

Domicilio: Av. Maximino Montiel Olmos, Manzana 18, Lote 2, Col. Parque Industrial Atlacomulco, Delegación Atlacomulco, C.P. 50450, Estado de México

RFC: DMC940610DFA

Representante Legal: José Héctor Tenopala Granados

Razón Social: Marcos & Marcos de Mexico, S.A. de CV.

Domicilio: H. Ayuntamiento 8G, Col. San Juan, Delegación Tultepec, C.P. 54960, Estado de México

RFC: MA&990222V79

Representante Legal: Policarpo Rodríguez Pérez

INFORMACIÓN GENERAL

Residuo Objeto del plan

El Poliestireno expandido (EPS) es una variante física del Poliestireno, que a su vez es el cuarto polímero de mayor producción en el mundo y en México después del PET, PE y PP.⁶ Este material también recibe nombres como unigel, hielo seco, nieve seca, foam, telgopor, isopor tecnopor, espuma blanca, entre otros. Algunos ejemplos de productos fabricados con este material son: hieleras, vasos y desechables, empaques y embalajes, así como placas de construcción y casetón.

El concepto de Poliestireno celular es por primera vez reportado en 1935 por los suecos Munters y Tandberg, quienes registraron la patente con el nombre de “Foamed Polystyrene”.⁷

Este material es identificado según la norma ASTM D7611 / D7611M - 13e1 y su acercamiento mexicano, la NMX-E-232-CN-CP-2011, con un número 6 dentro de un triángulo.⁸

RESINA PLÁSTICA	CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE RESINA - OPCIÓN A	CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE RESINA - OPCIÓN B
Polietilen tereftalato	 PETE	 PET
Polietileno de alta densidad	 HDPE	 PE-HE
Policloruro de vinilo	 V	 PVC
Polietileno de baja densidad	 LDPE	 PE-LD
Polipropileno	 PP	 PP
Poliestireno	 PS	 PS
Otro	 OTHER	 0

ILUSTRACIÓN 1 CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN ASTM D7611 / D7611M

6 (Asociación Nacional de Industrias del Plástico A.C., ANIPAC 2014)
7 (Brinkmann-Rengel and Niessner 2000)
8 (Mohan 2013)

PROCESO PRODUCTIVO

Proceso Productivo

El proceso de producción del EPS, abarca desde el proceso de extracción de petróleo hasta la obtención de producto terminado.

Fabricación

El Poliestireno se obtiene a partir de la polimerización del estireno, este a su vez es un monómero plástico que se obtiene a partir del etileno. Para la fabricación de PS, el proceso representa un consumo del 4% de la producción de petróleo, mientras que para EPS, el 0.1% del total.

Una vez que se extrae el petróleo crudo de los yacimientos, este pasa por un proceso térmico en el cual se separa en hidrocarburos de diferentes densidades. Este proceso llamado refinación se lleva a cabo en una caldera y posteriormente en una columna de destilación. El crudo pasa de la caldera donde se calienta a temperaturas cercanas a los 400°C y posteriormente a la columna de destilación donde al condensarse a distinta temperatura se separan los diferentes hidrocarburos.⁹

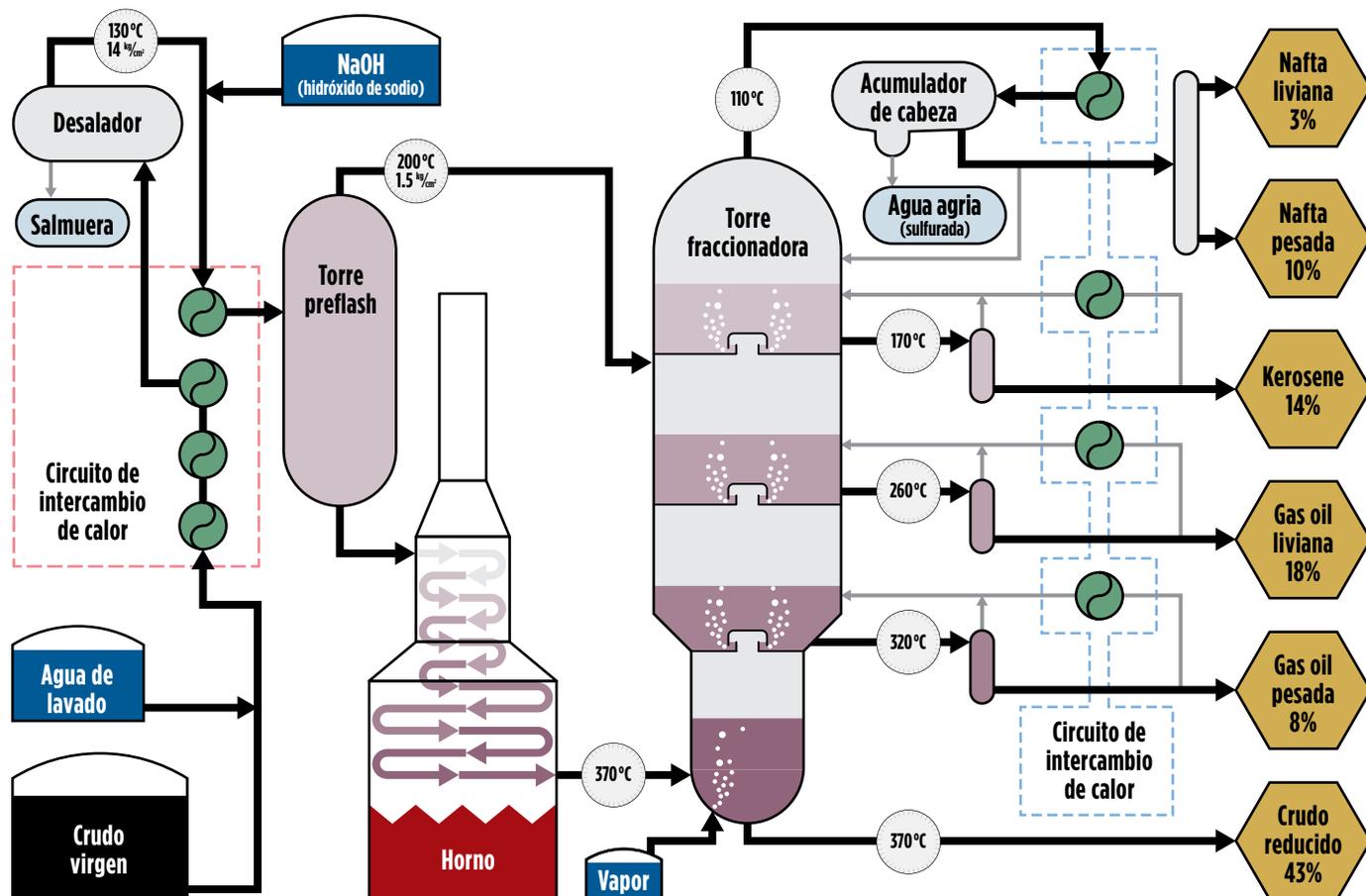


ILUSTRACIÓN 2 PROCESO DE DESTILACIÓN

El gas de etileno se obtiene principalmente de hidrocarburos ligeros a través de un proceso denominado “Steam Cracking”, en el cual los hidrocarburos se calientan a temperaturas entre 750 y 900 grados Celsius; induciendo numerosas reacciones de radicales libres seguidas por un súbito término de las mismas con el fin de cambiar las largas moléculas en partículas

9 (Gustavo s.f.)

PROCESO PRODUCTIVO

más pequeñas. El etileno es separado de la mezcla resultante por medio de ciclos de compresión y destilación.

Comúnmente se utiliza una mezcla de propano y etano para la obtención del etileno, ya que solo se requiere una torre de hidratación con agua.¹⁰

El etileno es después usado para producir etilbenceno, un compuesto necesario previo a la producción de estireno.

El etilbenceno se obtiene combinando etileno y benceno en una reacción de alquilación.¹¹

Una vez obtenido el etilbenceno este se deshidrata para obtener estireno e hidrógeno.

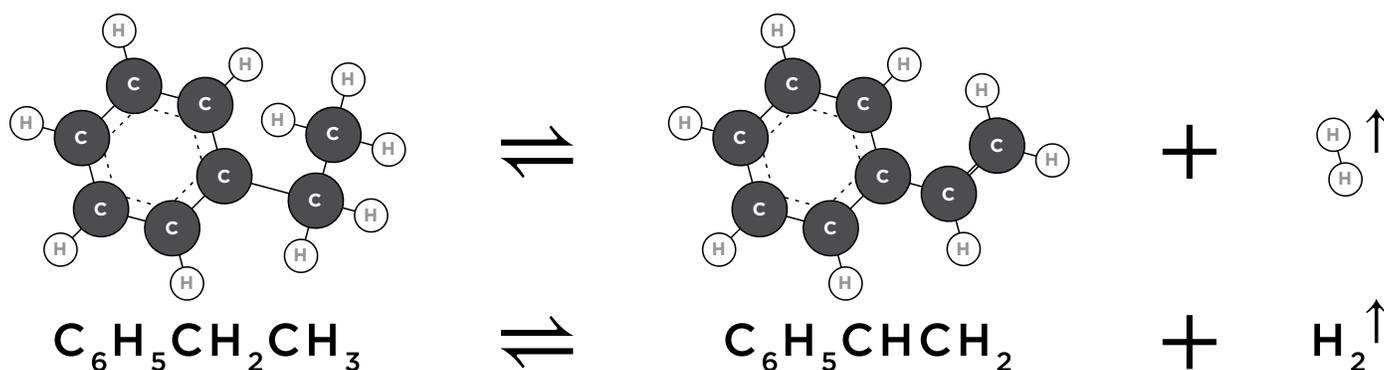


ILUSTRACIÓN 3 REACCIÓN DEL ETILBENCENO PARA LA FORMACIÓN DE ESTIRENO E HIDRÓGENO

El etilbenceno se mezcla en su fase gaseosa con vapor en una relación de 10 a 1 o 15 a 1. Finalmente, esta mezcla pasa por una cama de catálisis sólida. La mayoría de la catálisis de la deshidratación del etilbenceno se basa en hierro III que es promovido por óxido de potasio o carbonato de potasio.

El resultado es estireno, un líquido aceitoso transparente de olor dulce que forma la base para la producción de Poliestireno.

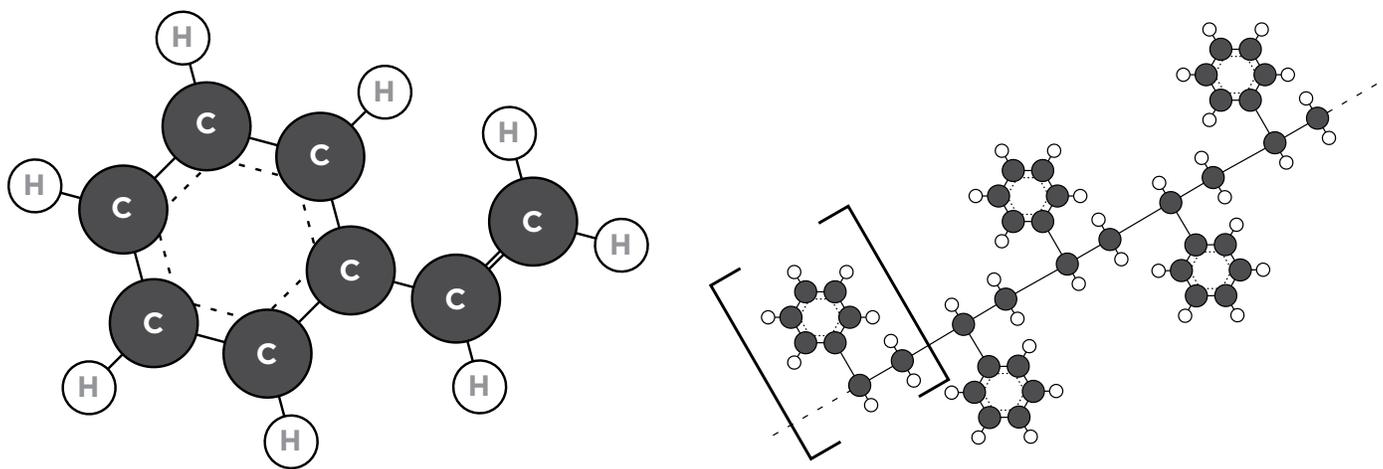


ILUSTRACIÓN 4 MOLÉCULA DE POLIESTIRENO

Hoy en día el proceso de fabricación de perlas de Poliestireno expandido se realiza principalmente por medio de dos procesos, la polimerización suspendida del estireno en perlas esféricas que contienen al agente expansor, lo que lleva a un proceso de varias etapas y el de incorporación del agente expansor en la extrusión de Poliestireno común; este último proceso es más comúnmente usado para la producción de EPS para embalaje.

10 (Kniel, Winter and Stork 1980)
11 (James y Castor 2005)

PROCESO PRODUCTIVO

El primer proceso de producción permite el transporte de las perlas preformadas hasta un sitio de expansión final, donde se expandirán dentro de un molde a través de vapor.¹²

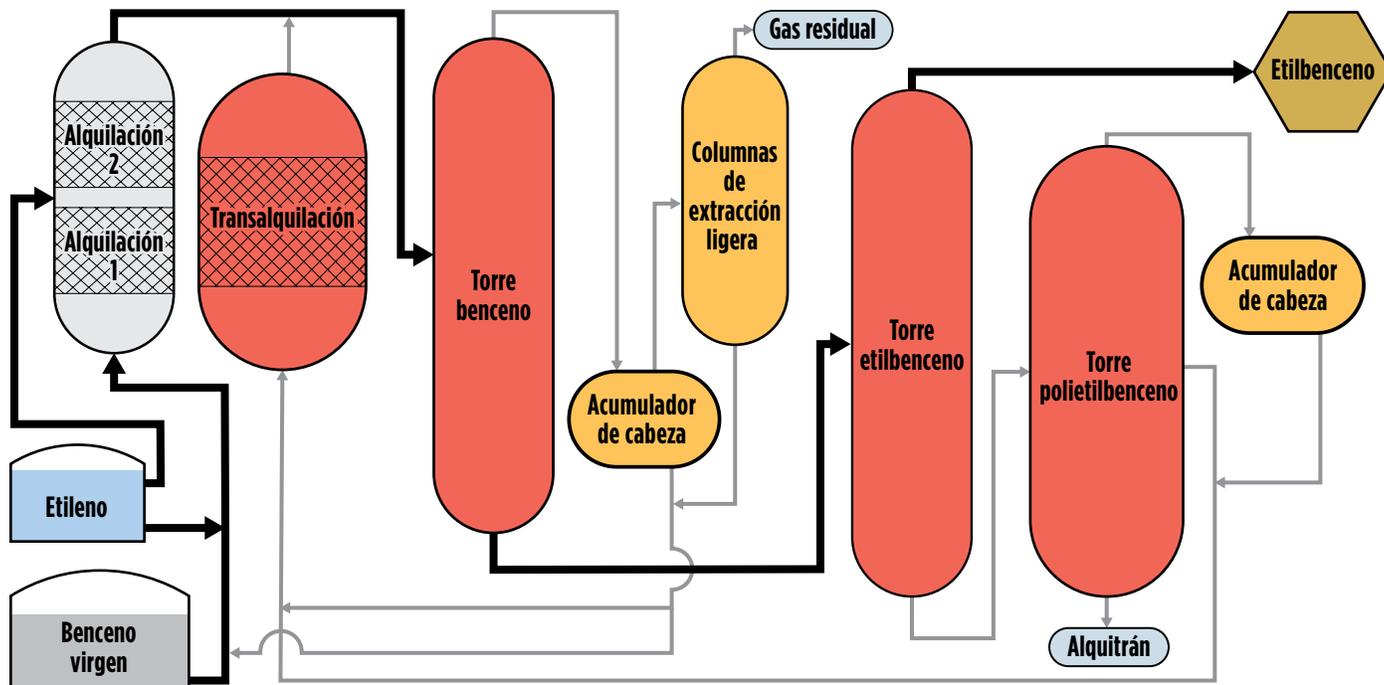


ILUSTRACIÓN 5 PROCESO DE OBTENCIÓN DEL ETHYLBENCENO A PARTIR DE GAS DE ETILENO

La adición del agente expansor al polímero se puede llevar a cabo antes o durante la polimerización,¹³ este proceso se denomina impregnación.

La impregnación de ser realizada con demasiada antelación, incrementa el tiempo de la polimerización debido al efecto de la dilución;¹⁴ mientras que una adición tardía solo se utiliza para el reciclaje de materiales de desecho,¹⁵ El momento justo para inyectar el agente expansor a la mezcla es cuando se alcanza un 66% de polimerización del estireno.¹⁶

Los agentes expansores son compuestos del tipo C_nH_m libres de halógeno, como el n-butano, isopentano, neopentano, n-pentano y hexano. Comúnmente se usa una mezcla de iso pentano y n-pentano.¹⁷

Debido a la diferente tasa de difusión del iso y el n-pentano, se pueden generar diferentes propiedades según su concentración en la impregnación. Una cantidad mayor de isopentano, provoca que las perlas de EPS se puedan expandir durante mayor tiempo sin embargo obliga a un mayor tiempo de enfriamiento.¹⁸ El agente expansor usado, depende del producto final que se desea manufacturar.

12 (Honeywell UOP s.f.)
13 (Chen, y otros 1999)
14 (Villalobos, Hamielec y Wood 1993)
15 (BASF 1992)
16 (Konno, Arai y Seito 1982)
17 (Ortiz 2014)
18 (Scheirs y Priddy 2003)

PROCESO PRODUCTIVO

Preformado

En esta etapa las partículas de Poliestireno Expandido son calentadas mediante vapor saturado por arriba de la temperatura de transición vítrea en una preforma. El agente detonador alojado en la matriz de Poliestireno se expande formando un sistema de celdas esférico. Durante esta etapa la perla de Poliestireno Expandido puede expandirse por un factor de entre 40 y 80.¹⁹

Maduración

Después del proceso de preformado, se presenta un vacío dentro de la perla de Poliestireno Expandido, debido al pentano remanente del preformado. En la maduración, la perla de Poliestireno Expandido se enfría por un periodo dado, de tal forma que penetre aire dentro de las celdas de la perla igualando la presión atmosférica. Sin embargo, si su almacenamiento dura demasiado tiempo, el pentano remanente escapa por la celda y esto disminuye el potencial de expansión de la perla en el molde.

Espumado final

La versatilidad del Poliestireno Expandido es su facilidad de manejo, ya que la perla pre expandida puede tomar cualquier forma dentro de un molde donde se expande hasta su volumen final a través de la inyección de vapor en el molde.

Panorama de la industria

Podemos enmarcar, dentro de la industria química, particularmente en el ramo de la industria plástica a los productores de Poliestireno y dentro de ellos los de espumados.

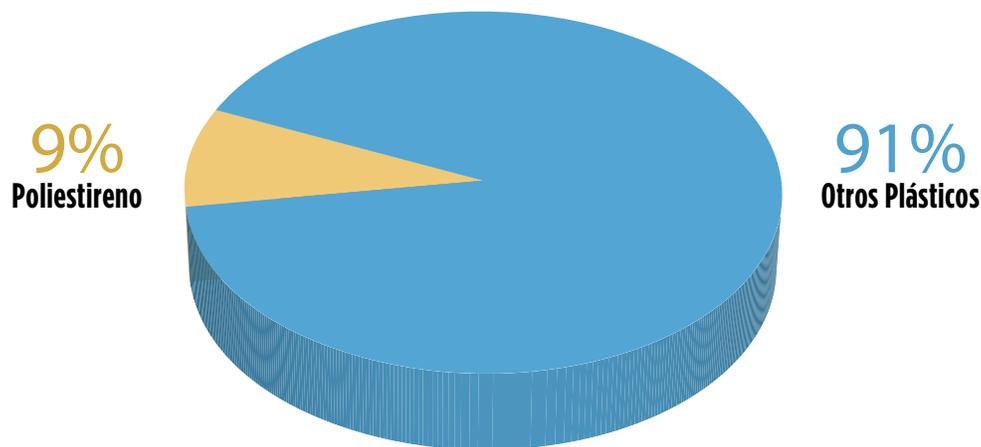


ILUSTRACIÓN 6 EL PS REPRESENTA EL 9% DE LA INDUSTRIA PLÁSTICA

La industria de Poliestireno en México aporta dos mil ciento cincuenta millones de dólares de forma anual al PIB nacional (0.19%), alrededor de 21 mil empleos directos y tiene una cobertura a nivel nacional.

PROCESO PRODUCTIVO

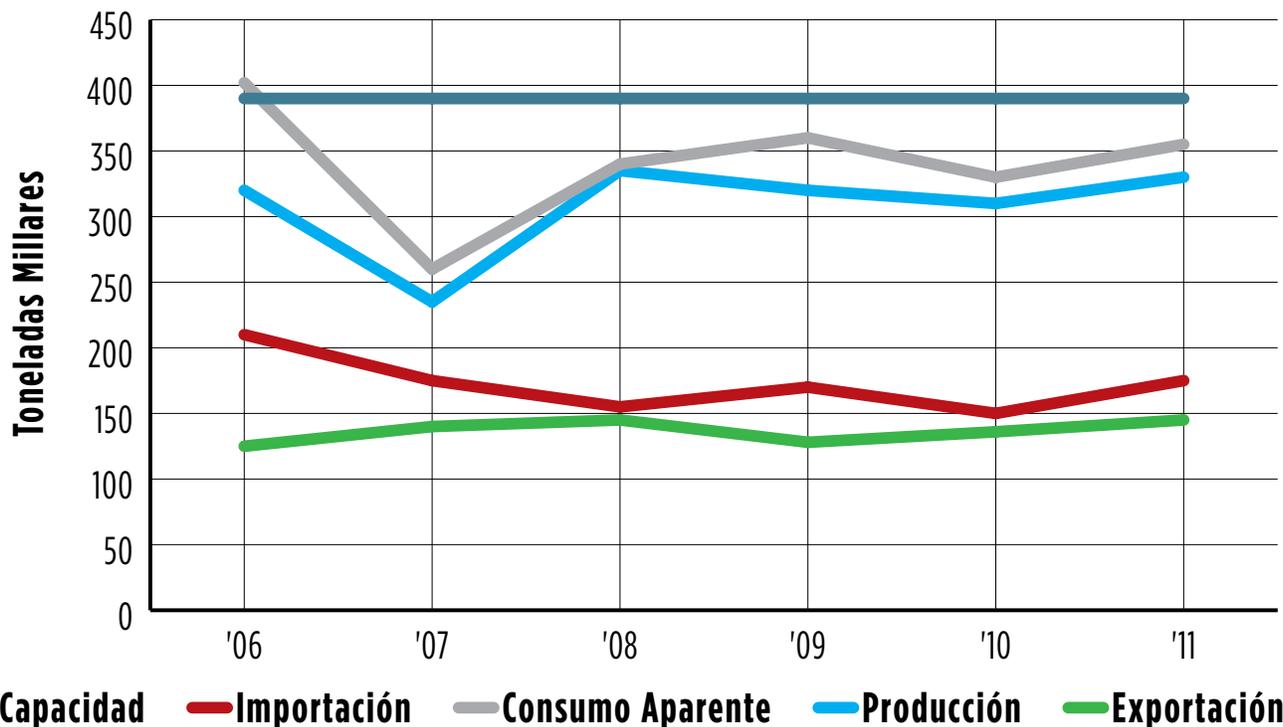


ILUSTRACIÓN 7 INDICADORES DE LA INDUSTRIA DEL PS

Los principales productores de Poliestireno tienen una capacidad instalada de 417 mil toneladas anuales, mientras que el consumo aparente de esta resina ronda las 500 mil toneladas.²⁰

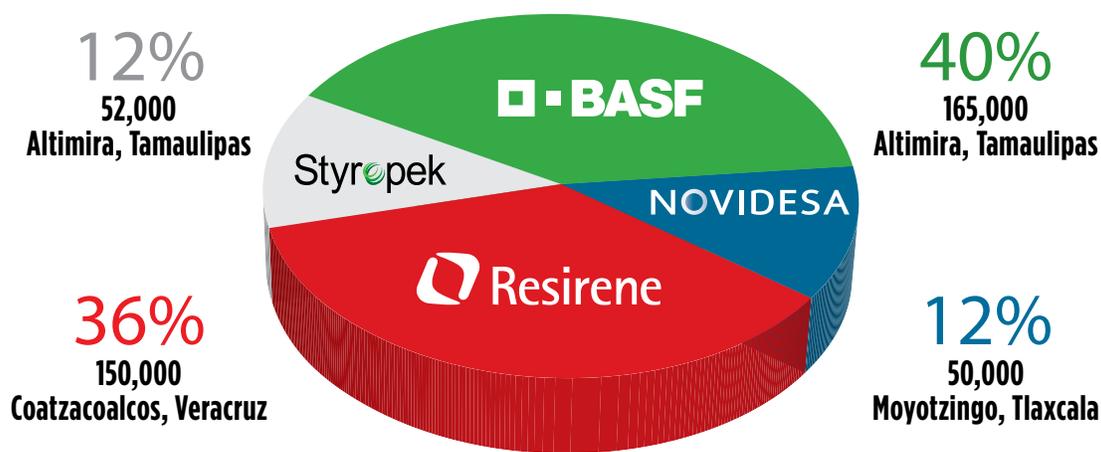


ILUSTRACIÓN 8 DISTRIBUCIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA EN LA PRODUCCIÓN DE PS

En el caso de Poliestireno expandido, el consumo aparente anual llega a 125 mil toneladas anuales, lo que representa el 29.97% del total de la industria del Poliestireno. La producción Nacional llega a 417 mil toneladas de capacidad instalada y los principales productores son: Styropek, Novidesa, BASF, Resirene. Y los principales transformadores para artículos uso alimenticio destacan Dart, Convermex, Reyma.

Usos

Los productos fabricados en Poliestireno expandido tienen un gran campo de usos y aplicaciones, siendo 3 ramas las principales: Construcción, embalaje y uso alimenticio.

Composición de la producción de artículos de EPS

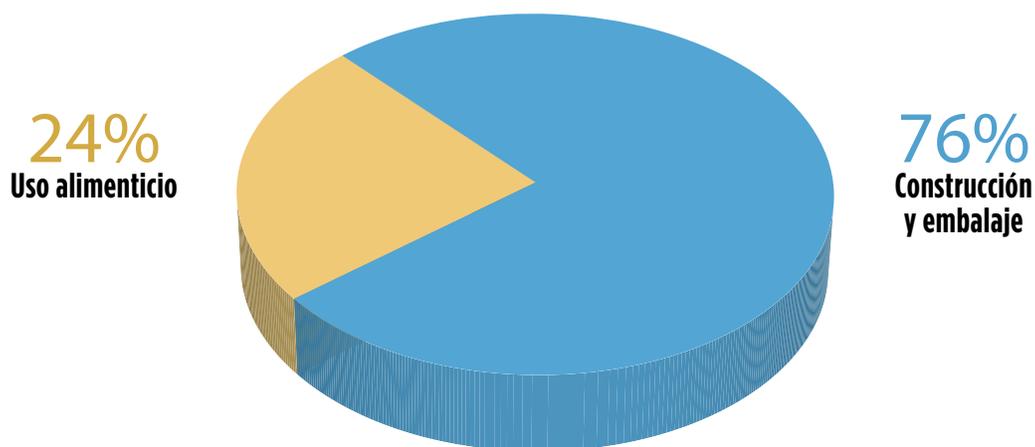


ILUSTRACIÓN 9 COMPOSICIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ARTÍCULOS DE EPS

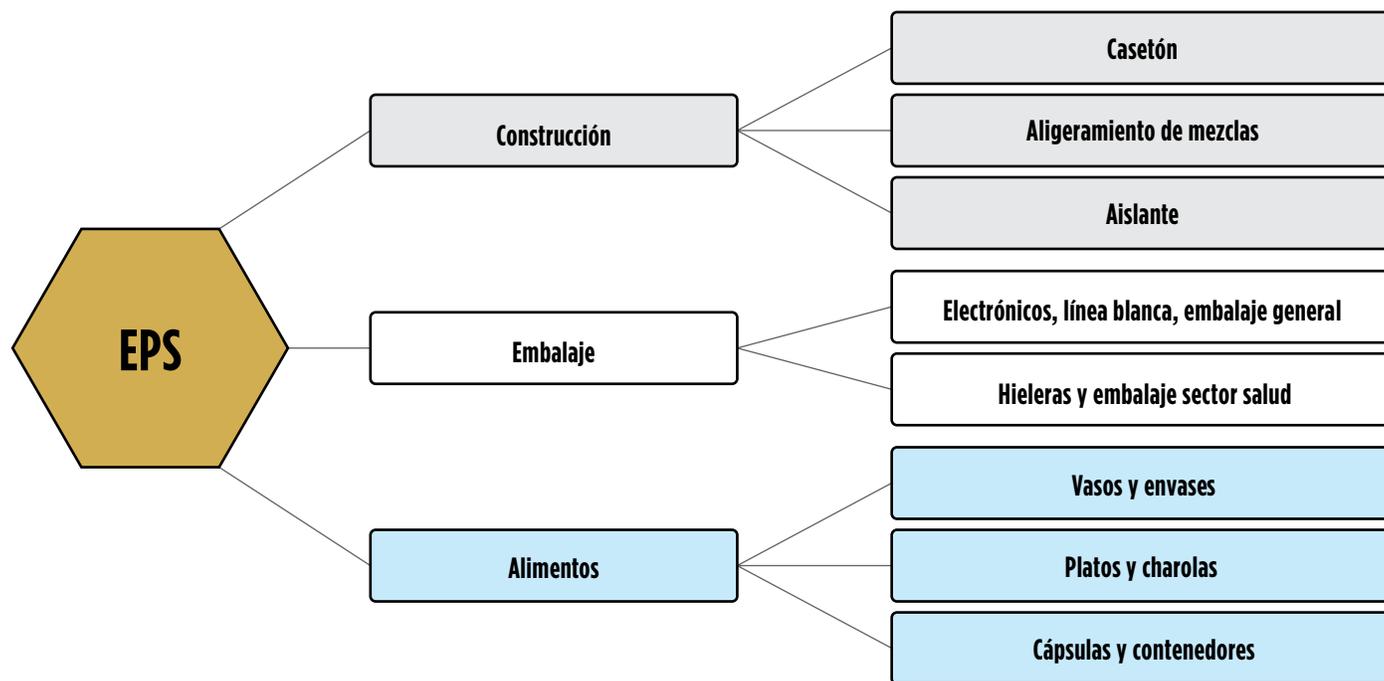


ILUSTRACIÓN 10 TIPOS DE PRODUCTOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

Balance del proceso productivo

La fabricación de productos terminados de Poliestireno Expandido nos lleva a presentar un balance general que permitirá definir el impacto ambiental global del material, contemplando huella energética, hídrica y de carbono.

Durante el proceso de obtención de la materia prima se reporta un impacto de CO₂ equivalente de 4.27 kg de CO₂ por kg de perla de Poliestireno.²¹ Mientras que la producción de productos terminados (vasos) el balance se muestra a continuación.

BALANCE POR PRODUCCIÓN	
Energía Eléctrica (kJ/kg EPS)	4867.617
Gas Natural (kJ/kg EPS)	66.168
Consumo Energético (kJ/kg EPS)	4933.785
Huella Hídrica (L/kg EPS)	0.070
CO ₂ equivalente (kg/kg EPS)	5.311

Residuos generados en la producción

Debido a la eficiencia en la producción de productos terminados de EPS, el desperdicio en esta etapa es mínimo.

El único residuo sólido resultante del proceso es EPS residual, representando 2.9%. Este es enviado a centros de reciclaje secundario y representa un impacto de 0.03 gramos de CO₂ equivalente por kilogramo de EPS producido.

Manejo Actual del residuo

Debido a las propiedades del material y que una parte de ellos son productos de consumo (productos desechables), hasta el momento las iniciativas para su aprovechamiento se limitan a ser reprocesados y solo son recolectados en ciertas zonas geográficas del país.

Distribución

La distribución de materiales de EPS en el país se concentra en la ZMVM, que representa el 70% de flujo, mientras que la mayor parte del 30% restante corresponde a la ZMG y la ZMM.

El transporte de las plantas de producción a los centros de distribución y a los centros del consumidor, suman en promedio, 330 kilómetros acorde a la logística de operación de los productores de EPS y que tiene un impacto promedio de 29.7 gramos de CO₂ equivalente por kilogramo de EPS producido.²²

Desecho

El final de la vida de los productos de EPS, dependiendo su uso, es localizada en el punto de consumo, por lo que la fracción de EPS de uso alimenticio y embalaje de artículos de consumo, termina por ser desechado a través de los servicios de limpia locales. En el caso de material de construcción y embalaje de artículos pre manufacturados, la disposición de los mismos se realiza por prestadores de servicio, quienes pueden o no llevarlos a centros de reuso y/o reciclaje.

El porcentaje de reuso y reciclaje al día de hoy asciende a 2.12%.²³

Reutilización

Actualmente la reutilización del material se concentra en moler el material para su uso como relleno en muebles, sillones y almohadas. Mientras que los productos uso alimenticio son reutilizados de forma doméstica como artesanías, vajilla de uso diario, etc.

Reciclaje

Con el boom de los recicladores hacia finales de los 80 en Estados Unidos, algunos de los mismos incursionan en el manejo de EPS, iniciando, el reciclaje de material de embalaje e industrial. La insipiencia del reciclaje de uncel termina en la siguiente década, ya que para en 1990, de contar con tres millones de libras, se pasa a 20.8 millones de libras recolectadas en 1992. En Estados Unidos²⁴ (Sin scrap y sin postconsumo)

AÑO	VOLUMEN RECOLECTADO (MILLONES DE LIBRAS)	VOLUMEN VENDIDO (MILLONES DE LIBRAS)	PORCENTAJE RECICLADO
1990	3.00	179.00	1.7%
1992	20.80	218.00	9.5%
1994	24.20	238.00	10.2%
1996	22.50	217.00	10.4%
1998	19.20	202.00	9.5%
2000	24.90	206.00	12.1%
2002	26.20	201.00	13.0%
2004	25.00	222.00	11.3%
2006	32.00	166.00	19.3%
2008	33.60	172.00	19.5%
2010	37.10	130.00	28.5%

²² (Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable S.A. de C.V. (CADIS) 2013)

²³ (CIPRES, Comisión de la Industria del Plástico Responsabilidad y Desarrollo sustentable 2016)

²⁴ (Alliance of Foam Packaging Recyclers, 2010)

MANEJO ACTUAL DEL RESIDUO

Los procesos de reciclaje de unicel en la época solamente eran físicos y se limitaban al densificado mecánico y al termo-densificado. Estos sistemas de reciclaje, al igual que los existentes en la época se basan en un proceso de ingeniería inversa a través del cual se convierten de nuevo en materia prima.²⁵

El método de densificado mecánico o densificado en frío, es un proceso de compactación en el cual el unicel es prensado mediante fuerza hidráulica. El Poliestireno se compacta en un ratio de 8 a 1, es decir, su volumen se reduce en un 8.7%. Los bloques compactados posteriormente pueden ser transportados reduciendo los costos de los fletes al poder transportar una mayor cantidad de residuos. Generalmente este proceso solo se utiliza para la transportación o para la disposición final del residuo.²⁶

Este proceso es por el cual el Poliestireno Expandido puede convertirse en materia prima de Poliestireno por medio su descomposición a través de calor y presión. Esto se logra mediante una extrusora, reduciendo su volumen en una relación 90 a 1.

En este proceso, el material de desperdicio pasa por un triturador que lo divide en partículas de menor tamaño y las arroja a la garganta de la extrusora, donde es llevado a través del husillo. El material se desplaza entre el husillo y el barril, al cual están adheridas resistencias eléctricas para aumentar la temperatura del material. Finalmente, el material sale del barril pasando por el dado de extrusión.

El proceso de pelletizado consiste en transformar el material obtenido en la extrusora en pellets, trozos muy pequeños del material, los cuales pueden ser comercializados como materia prima para la industria plástica.

Este proceso se puede realizar de tres formas; por trozado, por engranes o por goteo. El pelletizado por trozado implica que la salida del dado sea tan pequeña como el grueso que se requiere del pellet, colocando una trozadora rotativa frente al dado. El de engranes, corta el filamento enfriado por medio de dos engranes coincidentes y el de goteo, hace que el material gotee desde el dado a una tina de enfriamiento, creando pellets esféricos.

Los primeros estudios realizados en materia de reciclaje de Poliestireno Expandido fueron realizados por Sony Corporation Osaki West Tec, en 1997, donde ellos descubren que a través del d-limoneno, un aceite refinado de la cáscara de cítricos como la naranja, mandarina y toronjas, es posible procesar el unicel. Este aceite natural funciona como solvente del Poliestireno expandido, teniendo prácticamente la misma capacidad solvente que el tolueno a temperatura ambiente.

El proceso mediante el cual funcionó el programa piloto de Sony, llamado "Orange R-net" era el acopio y reducción del EPS en el sitio, donde después era transportado a una planta de reciclaje donde se refinaba el producto y se separaba el Poliestireno del d-limoneno. El Poliestireno era después procesado y pelletizado para venderse como materia prima.²⁷

Basado en el mismo funcionamiento de disolución del Poliestireno expandido en d-limoneno, y en base a que la tecnología de disolución pasó a ser parte del dominio público, las personas se dieron cuenta de las propiedades adhesivas del material disuelto.²⁸

A partir de la disolución en d-limoneno, se pueden obtener tres productos dependiendo de la concentración de EPS en el aceite. Si es una concentración baja, se obtiene un recubrimiento sellador o barniz, si aumenta la concentración se puede utilizar como pegamento de baja resistencia y finalmente maximizar la cantidad de unicel y recrear el escenario del programa Orange R-net de Sony, donde se obtiene materia prima densificada.

25 (García 2006)

26 (Ortiz 2014)

27 (Sony 2003)

28 (Noguchi, y otros 1998)

Antecedentes en México

Estos experimentos fueron replicados con éxito en México hasta el 2010, por Javier Adrián García Pineda, del Laboratorio de Superficies del Departamento de Físicoquímica de la Facultad de Química.²⁹ Este proceso fue replicado por algunos recicladores, ambientalistas y artesanos, pero sustituyeron el d-limoneno por un solvente orgánico más barato: Thiner americano, el cuál es un compuesto de Tolueno, Alcohol Metílico, Xileno y Esteres.

Esta sustitución, además de ser una práctica peligrosa al no ser una actividad regulada, implica que el manejo de solventes de baja calidad, genera vapores que son liberados a la atmósfera, que se degradan al reaccionar con radicales hidroxilo producidos foto químicamente en un tiempo entre 2 y 53 días.³⁰

Por otro lado, el 16 de junio de 2010, Dart de México inaugura en Atlacomulco, Estado de México, un centro de reciclaje a pequeña escala. El reciclaje se procesa vía termodensificación: el material es densificado y luego se pellitiza. Terceros se encargan de su reprocesamiento.

En 2011, estudiantes de la Universidad Nacional Autónoma de México crean Tecnologías Rennueva con el fin de crear una tecnología específica para procesar Poliestireno Expandido de forma eficiente dadas las condiciones presentes en México.

En el año de 2014 Marcos & Marcos de México inicia producción de molduras para marcos fotográficos en los que incluye una línea de EPS reciclado. Para el año 2016 aumenta su producción, consumiendo y reciclando 750 toneladas de unicef al año.

29 (García Pineda 2010)
30 (Atkinson 1998)

MANEJO ACTUAL DEL RESIDUO

Ruta de manejo actual

La perla de Poliestireno expandible es trasladada a los centros de producción final para producir una variedad de productos terminados. Éstos son después comercializados a través de diferentes centros de distribución. El producto es utilizado por el consumidor final y en general, se dispone a través de servicios particulares o los sistemas locales de limpia de los municipios.

Infraestructura

Debido a que el 70% del consumo de EPS se localiza en la ZMVM y la mayor parte del 30% restante en la ZMG y la ZMM, se considerará la estructura y el sistema de recolección, manejo y disposición ofrecido por estos estados.

PRESTADORES DE SERVICIO	CDMX	GUADALAJARA	MONTERREY
Privado	73 ³¹	169 ³²	627 ³³
Estatad	1 ³⁴	0	0
Total vehículos	3258 ³⁵	351 ³⁶	238 ³⁷

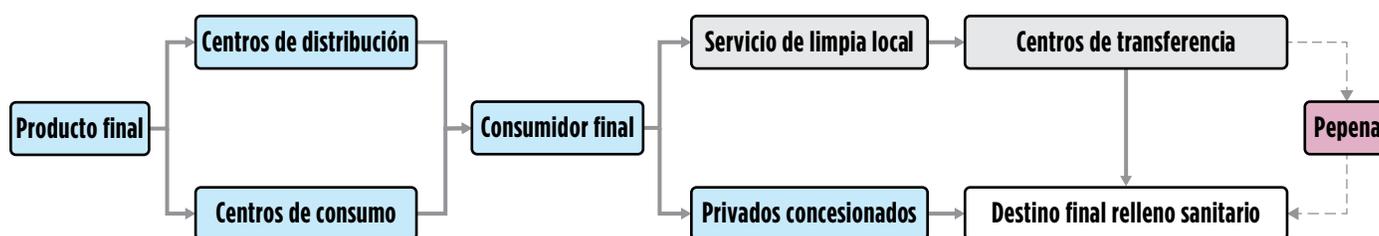
RELLENOS Y TIRADEROS	ZMVM	ZMG	ZMM
Total	8 ³⁸	11 ³⁹	5 ⁴⁰

Por otro lado, el 2.12% de los residuos que se reciclan se realiza en la ZMVM y la infraestructura y ruta de manejo de este porcentaje será tratada de forma particular.

Este pequeño porcentaje es atendido por 2 centros de acopio en las instalaciones de Dart de México y Tecnologías Renueva, los cuales cuentan con una capacidad instalada de 1,150 toneladas anuales.

Así mismo se cuenta con 2 vehículos para el transporte de material y 3 plantas de reciclaje.

En el siguiente diagrama se detalla la cadena y el proceso de manejo de los residuos de EPS, considerando la participación de privados concesionados.



31 (SEDEMA 2017)

32 (SEMADET 2017)

33 (Secretaría de Desarrollo Sustentable 2017)

34 (Pérez Courtade 2015)

35 Se consideran los 709 vehículos autorizados por la SEDEMA y los 2552 que opera el gobierno de la CDMX.

36 Se consideran las 169 autorizaciones de la SEMADET y las 182 unidades operadas por Caabsa Eagle. (El Informador 2016)

37 Op. Cit. Secretaría de Desarrollo Sustentable

38 (Centro Virtual de Cambio Climático de la Ciudad de México 2009)

39 Op. Cit. SEMADET

40 Op. Cit. Secretaría de Desarrollo Sustentable

MANEJO ACTUAL DEL RESIDUO

Impacto Ambiental del manejo

La huella de carbono asociada al manejo del material se puede dividir en el proceso de distribución y la disposición final. Como vemos el manejo actual, no es ambientalmente eficiente, debido principalmente a los problemas de logística que presenta el material en primer lugar por ser un material de consumo final y tener como ubicación de disposición centros públicos, hogares, centros de trabajo, etc. Siendo un material de disposición segregada y no focalizada; además de presentar un alto volumen en contra de su masa que complica el tema logístico per se.

ETAPA	CO ₂ EQUIVALENTE KG/KG DE EPS
Distribución	0.092
Disposición	0.01
Total	0.102

DIAGNÓSTICO DEL RESIDUO

Diagnóstico del residuo

El uso de Poliestireno Expandido a lo largo de su vida, en las condiciones actuales, representa una huella ambiental de 9.7 kilogramos de CO₂ equivalente por kilogramo de EPS utilizado.

Cadena productiva del material

El ciclo de vida del material, al desarrollarse e implementarse una tecnología para su reciclaje, se cierra y permite la creación y cierre de la cadena de valor del material.⁴¹

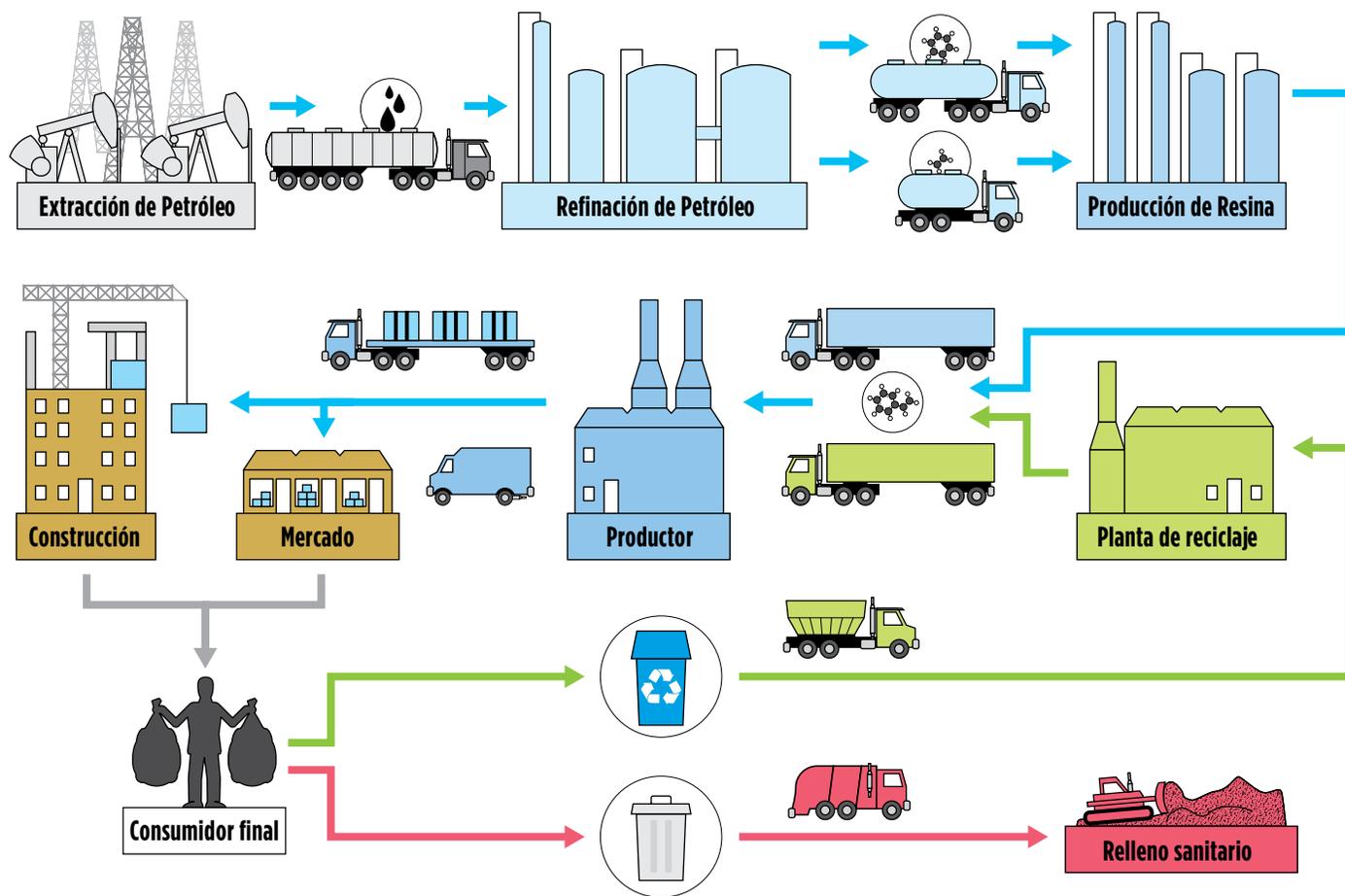


ILUSTRACIÓN 11 CICLO DE VIDA DEL EPS

DIAGNÓSTICO DEL RESIDUO

Identificación del potencial de aprovechamiento

Los artículos de EPS son utilizados ampliamente debido a su practicidad y relación costo-beneficio, ya que como producto desarrollado por la innovación tecnológica busca dar un servicio a necesidades específicas.

USO	RAZÓN DE SU USO	SUCEDÁNEO	RAZÓN DE NO USO DE SUCEDÁNEO
Agrícola	Hidroponía (hace flotar el cultivo por su baja densidad)	PPE o PEE	Corto tiempo de vida por disminución de la flotación
Construcción (aligeración de cargas)	Bajo costo y amplia disponibilidad	Piedra pómez, caucho, residuos de llanta, corcho	Alta densidad en comparación del EPS, costo
Construcción (aislante térmico)	El EPS es el material con más alta relación índice adiabático / costo	Aerogel, Fibra de vidrio, Lana mineral	Baja eficiencia térmica y alto costo
Aislamiento acústico	El EPS absorbe las ondas sonoras	Espumas de poliuretano (hule espuma)	Se usa más el sucedáneo, el uso de EPS para este caso es muy escaso y va en descenso
Arte y maquetas	Facilidad para su manejo y formado	Arcillas	Alto peso y costo
Modelado de piezas y moldes	Facilidad para su manejo y formado	Arcillas	Alto peso y costo
Fundición a espuma perdida	Facilidad para su manejo y formado	Ceras	Alto peso y costo
Empaque de artículos de consumo	Bajo costo, alta producción en serie	Cartón, PPE, PEE	Alto peso y costo
Empaque de artículos frágiles	Alta eficiencia de empaque, bajo costo	Espumas de poliuretano, cacahuates de harina, aserrín	Costo, baja eficiencia de protección
Hieleras desechables	Bajo costo, aislante térmico	Hieleras de polietileno	Costo, baja eficiencia térmica
Embalaje médico (hieleras, embalaje especial)	Inocuidad del material, facilidad de manejo, bajo costo, sanidad	N/A	No existe sucedáneo
Vasos desechables	Bajo costo, eficiencia térmica	PLA, PETX, cartón	Alto costo, ausencia en el mercado nacional
Charolas desechables	Bajo costo, eficiencia térmica	PET, PS, Cartón	Alto costo
Cápsulas desechables	Bajo costo, eficiencia térmica	PET, PS, Cartón	Alto costo

Las características que rodean a los productos del EPS, hacen que solo un 12% de los productos de EPS sean susceptibles a un sucedáneo, ya que un posible cambio tecnológico en las áreas de uso sería poco sustentable y generaría un impacto ambiental mayor.

La minimización del residuo en todos los casos es posible, pero depende de factores socioeconómicos ligados a su uso, por lo que se debe de buscar la minimización del consumo y disposición a través de la generación de una cultura colectiva de consumo responsable. Debido a usos específicos del material, su eliminación no es viable ya que causaría problemas de salud pública y seguridad nacional.

El reciclaje de este material es algo nuevo, pero se ha calculado que el impacto ambiental del reciclaje es de 3.36 kg de CO₂ equivalente por kg de EPS reciclado;⁴² al cerrar la cadena de valor, puede generar 150 nuevos empleos, con un incremento anual de hasta el 10% y aumentar el tiempo de vida de los rellenos sanitarios que dan servicio a las tres principales zonas metropolitanas del país.

Estas situaciones, permiten diagnosticar que el mejor camino a seguir en el manejo de este material es fomentar la valorización y aprovechamiento del mismo a través del reciclaje.

⁴² Memoria de cálculo, potencial de aprovechamiento

Formas de manejo identificadas

Actualmente el 97.88% de los residuos de EPS se disponen a través de los servicios de recolección domiciliaria que ofrecen los municipios y los concesionarios autorizados por los mismos y terminan en centros de disposición final; mayormente rellenos sanitarios.

El restante del total, es acopiado en las actividades de pepena o en el proceso de selección de material en plantas de reprocesamiento y llega a los centros de reciclaje de Poliestireno Expandido.

Material no recuperable

Dentro del proceso de reciclaje de unice, se han hecho diferentes investigaciones y pruebas con diferente cantidad de contaminación y diferentes contaminantes. Lo que ha llevado a identificar como materiales no recuperables los siguientes.

CONTAMINANTE	RAZÓN
Cualquier derivado del petróleo en fase líquida	Degradación química del material
Fuego	Degradación química del material
Hongos (cepas fúngicas Dd202, Dd219 y Dd225)	Fitodegradación

Limitación geográfica

La falta de recursos e infraestructura, han limitado hasta el momento el reciclaje a la ZMVM. Mientras que, a nivel nacional, la cobertura geográfica en cuanto a infraestructura es la misma que cualquier otro residuo sólido urbano.

PROPUESTA DE MANEJO

Propuesta de manejo

El diagnóstico del manejo actual y del residuo lleva al planteamiento de una propuesta de manejo, debido a que el mismo en su mayoría se segrega debido a ser un producto de consumo final y no un insumo, se establece una estrategia sectorizada enfocada a las condiciones de infraestructura de la ZMVM.

SECTOR	EJEMPLO	ESTRATEGIA	DESCRIPCIÓN
Grandes generadores	Industrias de la construcción y sector salud	Sistema de cobro por manejo	Cobro de sistema logístico y manejo de residuos en las instalaciones de reciclaje aquí mencionadas.
Generadores medios	Restaurantes y ensambladoras	Sistema de responsabilidad compartida	Apoyo con infraestructura y desarrollo de cadena de valor hacia el generador, cobro de servicio de manejo de Residuos por ruteo y/o recepción del material.
Pequeños generadores	Usuario final	Programas de reciclaje y centros de acopio	Difusión general del proyecto y donaciones de residuos de poliestireno de forma gratuita. El manejo para este sector se basará en el correcto manejo del residuo por el usuario, es decir, que se encuentre libre de otros residuos y sea depositado en el centro de acopio más cercano

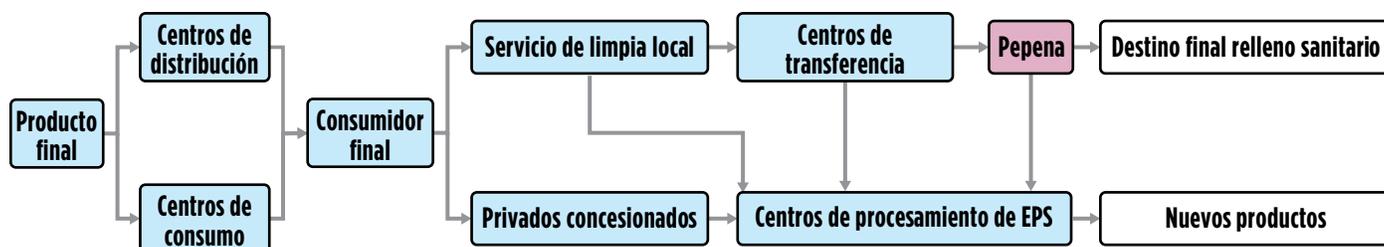


ILUSTRACIÓN 12 MODELO PROPUESTO PARA EL MANEJO DE RESIDUOS

Casos Particulares

En el pasado, algunos de los productos de Poliestireno Expandido utilizados en el sector de la construcción presentaban dentro de su composición ignífugos de Bromo, es decir, retardantes a la flama cuya base es el Bromo. Estos compuestos forman parte de las listas del Convenio de Estocolmo como un Compuesto Orgánico Persistente y según su artículo 6, “Se prohíben también las operaciones de eliminación de los desechos que den lugar a la recuperación, reciclado, uso directo o alternativo de materiales que contengan COP´s”.

Debido a esta situación, se analizó la situación en el país, resultando que este compuesto bromado usado como retardante dejó de utilizarse derivado del informe de Naciones Unidas UNEP/POPS/POPRC.4/15/Add.1, el cual a su vez deriva de la publicación de hojas técnicas sobre el riesgo de compuestos bromados por parte de la OCDE en 2005. En 2007 estos compuestos se agregan a los anexos del Convenio de Estocolmo y para 2008 su la industria a nivel global comienza a dejar su uso. Styropek, antes conocido como Polioles, uno de los principales productores de perla de Poliestireno Expandido para placa de construcción en México, facilitó las hojas técnicas de sus productos en las cuales Intertek Testing Services, certifica que su producto se encuentra libre de productos bromados (ver anexo).

Como lo indica el propio informe de la ONU antes citado, puede existir una dificultad para distinguir productos que contengan COP´s debido a la falta de un correcto etiquetado. Sin embargo y como lo indica el mismo informe, hay información que permitirá distinguir los productos que contienen COP´s de los que no.

En este sentido y para el caso del EPS, esta información proviene del uso de los materiales de la construcción, ya que dentro de esta categoría debemos de identificar dos tipos de fuentes generadores: El producido por el recorte de casetón y placa de la construcción resultante del proceso de construcción de una obra nueva y el procedente de demoliciones.

Principio Precautorio

Debido a que no podemos datar la fecha de producción de los productos de EPS de la construcción por su etiquetado; sí lo podemos hacer por su uso y características. Ya que la vida útil del unicel (para usos dentro de la construcción) es corto debido a la fotodegradación del mismo, podemos asegurar que el EPS usado en construcciones nuevas, está libre de COP´s. Para el caso de demoliciones, esta condición no se puede asegurar por que el EPS no se encuentra etiquetado. Por otro lado, dentro del material de construcción recibido por Rennueva, menos del 5% es correspondiente a demoliciones, entanto que 95% del mismo, proviene de obras nuevas y reguladas.

Por ello, **como principio precautorio, debido a la incertidumbre del origen del EPS de demolición, este tipo de residuo no se podrá recibir, almacenar o reciclar por ningún motivo.** El generador de este tipo de material será indicado a que contacte a la SEMARNAT o a la autoridad ambiental local correspondiente para asegurar el correcto manejo de sus residuos.

Metas de cobertura

Las metas de cobertura de este plan de manejo de carácter nacional, contemplan dos etapas: La primera con duración de un año, es atender las tres principales zonas conurbadas del país: ZMVM, ZMM, ZMG.



ILUSTRACIÓN 13 PRIMERA ETAPA DE COBERTURA DEL PLAN DE MANEJO

Mientras que al año subsecuente se busca como meta un centro de acopio en cada región del país.

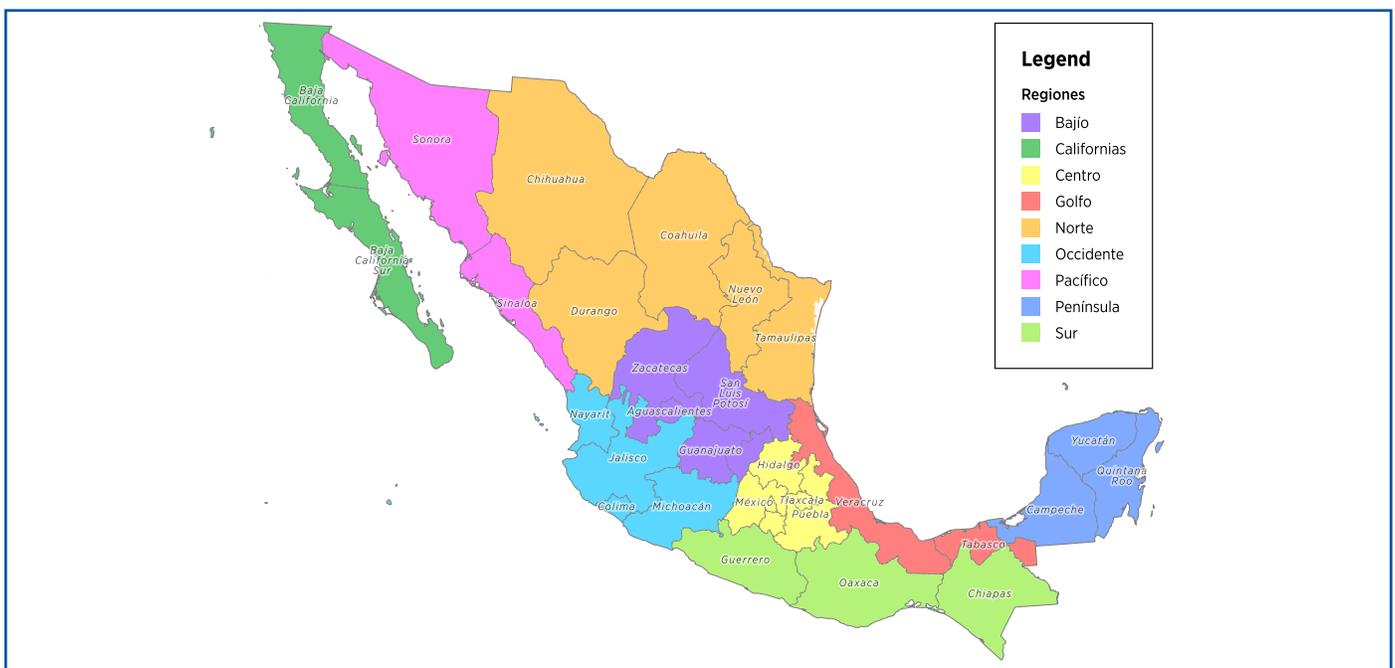


ILUSTRACIÓN 14 SEGUNDA ETAPA DEL PLAN DE MANEJO: DIFERENTES REGIONES DEL PAÍS

METAS DE COBERTURA

Destino final del residuo

El destino final del residuo son las actuales plantas de reciclaje de Poliestireno existentes en la ZMVM. A continuación, se muestra su ubicación.



DART de MÉXICO, S. de R.L. de C.V.

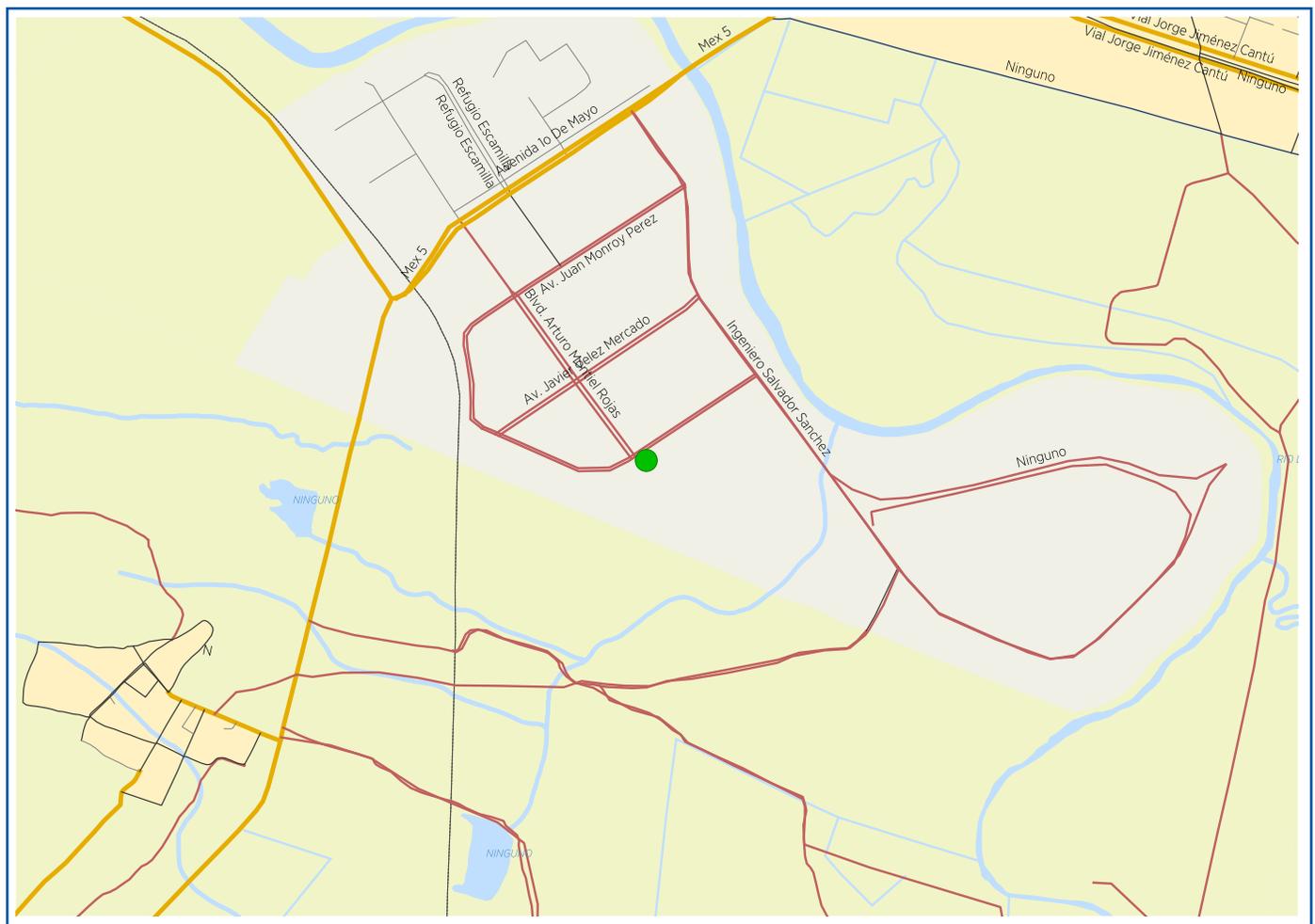
Dart de México, S. de R.L. de C.V.

Av. Maximino Montiel Olmos, Manzana 18, Lote 2

Col. Parque Industrial Atlacomulco

Delegación Atlacomulco

C.P. 50450, Estado de México

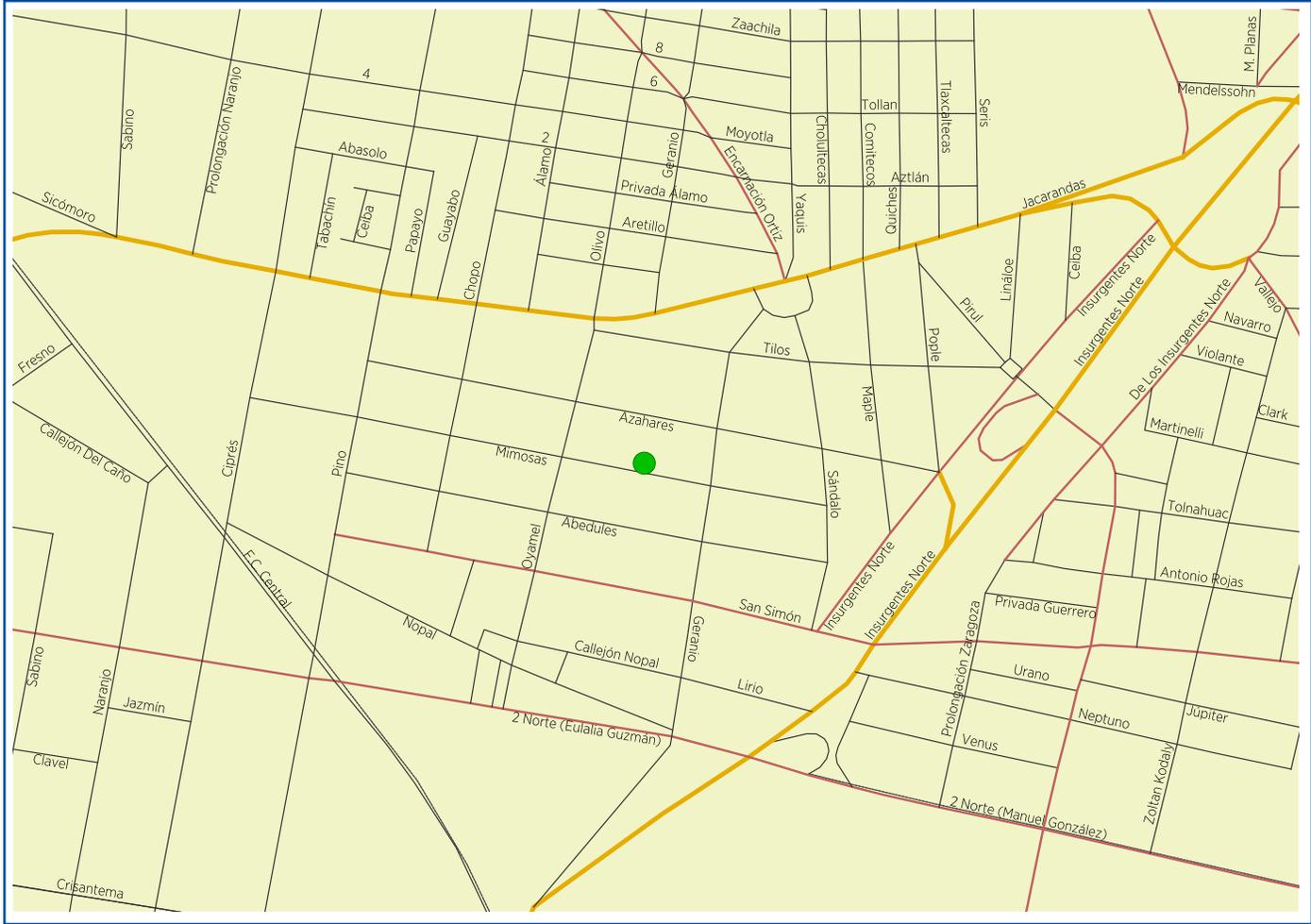


ILLUSTACIÓN 15 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE DART DE MÉXICO, S. DE R.L. DE C.V.

METAS DE COBERTURA



Rennueva, S.A. de C.V.
Mimosas 63
Col. Santa María Insurgentes
Delegación Cuauhtémoc
C.P. 06430, México, D.F.



ILLUSTRACIÓN 16 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE RENNUEVA, S.A. DE C.V.

METAS DE COBERTURA



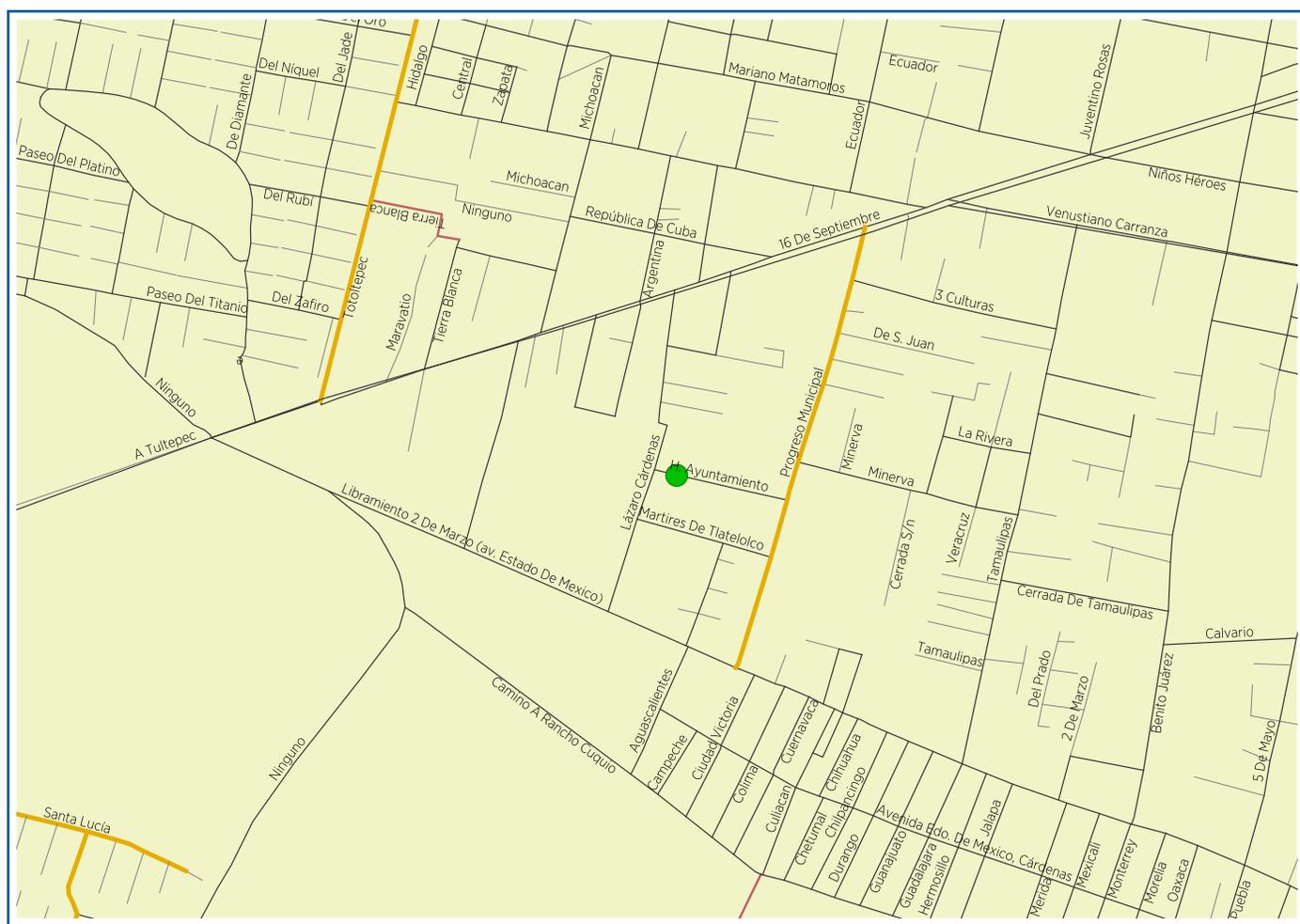
Marcos & Marcos de Mexico, S.A. de CV.

H. Ayuntamiento 8G

Col. San Juan

Delegación Tultepec

C.P. 54960, Estado de México



ILLUSTRACIÓN 17 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE MARCOS & MARCOS DE MEXICO, S.A. DE CV.

Operación, control, monitoreo, evaluación y mejora

La operación del plan de manejo será promovida por los participantes de acuerdo a su modalidad: Generador, reciclador o fabricante. Cada uno tendrá diferentes responsabilidades acordes a su modalidad, las que se describen en las acciones de participación.

Por otro lado, los denominados recicladores, integrarán un registro de volúmenes reciclados así como una bitácora de eventos, el cual se podrá acceder en la siguiente url: www.rennueva.com/plandemanejo/semarnat con el fin que sirva como medio de monitoreo y control.

A través de la plataforma digital, que se encontrará en línea, los recicladores a través de sus centros de acopio y plantas de reciclaje crearan un registro por cada generador del cual reciban material, así como de la cantidad y características de los residuos siguiendo el proceso que se muestra.



ILUSTRACIÓN 18 DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL REGISTRO Y MONITOREO DEL PLAN DE MANEJO

Derivado del principio precautorio para los casos particulares de EPS, como instrumento de control adicional, en los casos de residuos de EPS de construcción se solicitará una carta responsiva en donde se indique que el material está libre de COP's y no proviene de alguna demolición. Asimismo, si proviene de una demolición se negará la recepción del material y se indicará el contacto con SEMARNAT o la autoridad local ambiental para recibir indicaciones para la disposición de este tipo de residuos.

Para la evaluación del plan de manejo, cada seis meses se hará una evaluación estadística y de metas y en su caso ajuste de objetivos.

Difusión y comunicación a la sociedad en general

Se generarán programas que impacten directamente en la sociedad con el fin de difundir, en primer lugar, el reducir el consumo del material, en segundo lugar, hacer un correcto manejo de la disposición de los residuos así como su potencial de reciclaje y en tercer lugar, identificación del residuo para así mostrar el valor de los residuos y diferencien el concepto de basura del de residuos.

Esto se realizará a través de ferias de reciclaje, notas periodísticas, capacitaciones y eventos especiales como muestras artísticas.

Acciones de participación

Las acciones de participación se dividirán acorde a la índole del participante, agrupado en generadores, productores, recicladores y aliados estratégicos.

Generadores

Su participación es fundamental ya que tienen en sus manos dar el correcto manejo a estos residuos, pudiendo cerrar el círculo virtuoso de operación de la cadena de valor alrededor del manejo de residuos de Poliestireno expandido.

Por estas razones, sus acciones estarán enfocadas a dar un correcto manejo al material, disponer adecuadamente de él y fomentar la comunicación con los demás generadores para difundir un correcto manejo del material.

Productores

Su participación es parte de la responsabilidad compartida en el manejo de residuos, por lo que su apoyo se enfocará en la difusión de materiales didácticos para la concientización y sensibilización sobre el correcto manejo del material, promoviendo el uso responsable del material para su disminución además del hecho que es un material reciclable que bien manejado crea valor a la economía nacional.

Además de acciones de difusión, crearán programas, campañas y otras actividades pertinentes que ayuden a aumentar las tasas de separación, recolección y reciclaje de material.

Recicladores

Usarán los incentivos que puedan ofrecer gobiernos locales, productores o generadores para mejorar la infraestructura de manejo y reciclaje de Poliestireno expandido. Su objetivo será mejorar sus procesos con el fin de mitigar en mayor proporción el impacto generado por el material

Aliados estratégicos

Este último rubro, engloba a todas las agrupaciones, cámaras, ONG's, personas morales o físicas preocupadas por el ambiente que apoyarán el presente Plan de Manejo.

Etiquetado

Con el fin de hacer difusión al consumidor final e incentivar al productor a hacer un correcto manejo de los residuos de este material, se etiquetará a los mismos a través de un símbolo que indicará que el material constituye una cadena cerrada en su ciclo de vida, haciendo alusión al concepto de la cuna a la cuna (Cradle to cradle). Los productores, partícipes del plan de manejo, serán responsables de incluirlo en sus productos y de difundir por los medios pertinentes el objetivo de una cadena de valor y ciclo de vida cerrados.



MECANISMOS DE ADHESIÓN AL PLAN DE MANEJO

Mecanismos de adhesión al plan de manejo

Dentro de los mecanismos de adhesión que se plantean, se busca que estos involucren a los diferentes eslabones de la cadena conforme a su nivel de responsabilidad y acciones dentro de la misma.

Para ello se celebrarán convenios de adhesión en los que se estipularán las obligaciones, términos y condiciones de participación particulares acordes a las acciones referidas dentro de este plan de manejo.

Toda persona física o moral que así lo desee, puede solicitar su interés en adherirse al presente plan, por medio del envío de una carta a membretada a la dirección física del proponente.

Tabla de modalidades de adhesión

MODALIDAD	DESCRIPCIÓN
Aportación de infraestructura	Será una modalidad de adhesión al presente plan, cualquier ente moral o físico que aporte infraestructura (ya sea propia y operada por él mismo o donada a algún participante en el eslabón de reciclaje) para el aumento de la capacidad instalada de acopio y reciclaje.
Colaboración en difusión	Todo ente que aporte, patrocine o invierta en un evento como feria de reciclaje, campaña masiva de reciclaje, evento cultural, informativo, científico u otro de gran impacto social que se defina, en la periodicidad de un año, será considerado como modalidad de adhesión al plan.
Fomento científico	Cualquier desarrollo tecnológico, científico o innovador, que fomente la mitigación de GEI por el uso, manejo y transformación del EPS; desarrollado por un ente físico o moral, también será considerado como medio de adhesión.
Donaciones	Cualquier persona física o moral que aporte recursos económicos, en calidad de donación, para la creación de infraestructura, aumento o creación de campañas de difusión y/o desarrollo tecnológico; será considerado como una modalidad de adhesión al plan de manejo.

Los detalles, así como los alcances y limitaciones de participación, serán definidos en los convenios particulares que se celebren entre el proponente y los participantes.

Memoria de cálculo

Los datos estadísticos utilizados en este plan de manejo son tomados originalmente de diversas fuentes como se cita a continuación y los datos originales se utilizaron como base de cálculo para los datos aquí presentados.

Página 10

Tamaño de la industria de Poliestireno dentro de la industria plástica

Este dato se toma a partir del anuario estadístico de ANIPAC⁴³

Consumo aparente de la industria plástica: 6435 mil toneladas anuales

$$\% \text{ PS} = \frac{589 \text{ Mt}}{6435 \text{ Mt}} = 9.153\%$$

Aportación de la industria al PIB

Con el dato anterior, porcentaje de participación de la sección del Poliestireno en la industria plástica y el valor económico de la industria reportado en el mismo anuario⁴⁴ se obtiene el valor económico de la sección de Poliestireno.

$$V \text{ PS} = 22,000 \times 0.09153 = 2,013.68 \text{ MDD}$$

Se actualiza este valor en función del crecimiento del PIB nacional según el Banco Mundial⁴⁵ (crecimiento de 7.05% de 2013 al día de hoy).

$$V \text{ PS 2016} = 2,1013 \times 1.075 = 2,155.82 \text{ MDD}$$

El porcentaje de participación resulta de dividir el valor de la industria de PS entre el PIB.⁴⁶

$$\% \text{ PIB} = \frac{2,155.82 \text{ MDD}}{1,143,793.18 \text{ MDD}} = 0.1885\%$$

En cuanto a la cantidad de empleos, se utiliza el mismo dato del anuario estadístico en proporción del porcentaje de la sección de Poliestireno.

$$\# \text{ de empleos} = 230,000 \times 0.09153 = 21052.05905$$

43 (Asociación Nacional de Industrias del Plástico A.C., ANIPAC 2014, 23)

44 Ibid, pp 27

45 (Banco Mundial 2017)

46 Ibid

Página 12

Huella de CO₂ equivalente de materias primas para EPS

El dato de CO₂ equivalente para la sección de materias primas del ACV de vasos uso alimenticio presentado por CADIS,⁴⁷ se divide entre la masa funcional del propio ACV (4,277,000 kg).

$$\text{kg CO}_2 \text{ por kg EPS} = \frac{18,300,984 \text{ kg}}{4,277,000 \text{ kg}} = 4.27893 \text{ kg CO}_2 \text{ por kg EPS}$$

Balance Energético del EPS

Estos datos son obtenidos del ICV dentro del ACV.⁴⁸ Los datos son estandarizados al S.I. dentro del mismo orden de magnitud y normalizados para representar su consumo por kg de EPS producido.

Energía Eléctrica

Consumo: 5,783 MW·h por unidad de masa funcional

$$\text{Energía (en kJ) por kg EPS} = \frac{5.783 \times 10^9 \text{ (W}\cdot\text{h)} \times 3,600 \text{ s}}{4,277,000 \text{ kg} \times 1000} = 4,867.62 \text{ kJ/kg}$$

Gas Natural

Consumo: 283 TJ por unidad de masa funcional

$$\text{Energía (en kJ) por kg EPS} = \frac{283 \times 10^9 \text{ J}}{4,277,000 \text{ kg} \times 1000} = 66.168 \text{ kJ/kg}$$

Consumo energético total

$$\text{Energía (en kJ) por kg EPS} = 66.168 \text{ kJ/kg} + 4,867.62 \text{ kJ/kg} = 4,933.785 \text{ kJ/kg}$$

Huella hídrica

Consumo: 298 t (considerando densidad del agua como 1000 kg/m³) = 298,000 L

$$\text{L por kg de EPS} = \frac{298,000 \text{ L}}{4,277,000 \text{ kg}} = 0.07 \text{ L/kg}$$

CO₂ equivalente

Emisión: 22,715,103 kg por unidad de masa funcional

$$\text{kg CO}_2 \text{ eq por kg EPS} = \frac{22,715,103 \text{ kg}}{4,277,000 \text{ kg}} = 5.311 \text{ kg CO}_2 \text{ eq por kg EPS}$$

⁴⁷ (Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable S.A. de C.V. (CADIS) 2013, 46)
⁴⁸ Ibid Pp 28

Página 13

Desperdicio de EPS en la producción

El valor del porcentaje de desperdicio se toma del total en masa desperdiciada y se divide entre la unidad de masa funcional.⁴⁹

$$\% \text{ de desperdicio} = \frac{125,000 \text{ kg}}{4,277,000 \text{ kg}} = 2.922\% \text{ de desperdicio}$$

Mientras tanto, la huella de carbono equivalente resulta de multiplicar el valor de toneladas-kilómetro por un valor de generación de CO₂ de 59.8 g por tonelada-kilómetro.⁵⁰

$$\text{CO}_2 \text{ por kg desecho} = \frac{2,491 \text{ t-km} \times 0.0598 \text{ kg/t-km}}{4,277,000 \text{ kg}} = 3.48 \times 10^{-5} \text{ kg CO}_2 \text{ por kg desecho}$$

CO₂ Equivalente por distribución

Con los propios datos del ACV, se obtienen los datos del CO₂ equivalente por la distribución de artículos de EPS.

$$\text{kg CO}_2 \text{ eq por kg EPS} = \frac{(1,994,206 + 133,294) \text{ t-km} \times 0.0598 \text{ kg/t-km}}{4,277,000 \text{ kg}} = 0.029746201 \text{ kg CO}_2 \text{ eq por kg EPS}$$

Página 17

Impacto Ambiental por distribución y fin de vida

Se utilizan los datos del ACV para el impacto de GEI correspondientes al proceso entero de distribución y disposición y se dividen por la masa funcional

Distribución: 391,820 kg CO₂ por unidad de masa funcional.⁵¹

$$\text{kg CO}_2 \text{ eq por kg EPS} = \frac{391,820 \text{ kg}}{4,277,000 \text{ kg}} = 0.091610942 \text{ kg}$$

Fin de vida: 391,820 kg CO₂ por unidad de masa funcional.

$$\text{kg CO}_2 \text{ eq por kg EPS} = \frac{46,127 \text{ kg}}{4,277,000 \text{ kg}} = 0.010784896 \text{ kg}$$

El total representa la suma

$$\text{kg CO}_2 \text{ eq por kg EPS} = 0.091610942 \text{ kg} + 0.010784896 \text{ kg} = 0.102395838 \text{ kg}$$

Diagnóstico del residuo

Usando el valor total de CO₂ equivalente del ACV se divide entre la unidad de masa funcional para obtener el total por kg de EPS producido.⁵²

Total de emisiones de CO₂ equivalente por unidad de masa funcional: 41,454,033 kg

$$\text{kg CO}_2 \text{ eq por kg EPS} = \frac{41,454,033 \text{ kg}}{4,277,000 \text{ kg}} = 9.692315408 \text{ kg}$$

49 Ibid, Pp 28

50 (JF Hillebrand 2017)

51 (Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable S.A. de C.V. (CADIS) 2013, 46)

52 Ibid Pp 46

Páginas 18 y 19

Potencial de aprovechamiento

El cálculo de huella ambiental del proceso de reciclaje se hace considerando dos etapas; la obtención del EPS para su reciclaje y el proceso de reciclaje. En ambos casos, se consideran los parámetros de consumo pertinentes asociados a cada etapa.

Además de ello, se define la unidad de masa funcional como 1 kg de EPS.

Datos

RUBRO	MAGNITUD	UNIDADES
Obtención del material		
DISTANCIA DE ACOPIO	10	KM
TIPO DE VEHÍCULO	PICKUP	TIPO
Reciclaje del material		
ENERGÍA ELÉCTRICA	179	W-H/KG EPS
AGUA	0	L
RESIDUOS	0.1	KG/KG EPS

Valores de bases de datos

Además de los valores de la base de datos, para el cálculo del CO₂ Equivalente, se utilizan los factores del IPCC.⁵³

RUBRO	MAGNITUD	UNIDADES
Transport, freight, light commercial vehicle⁵⁴		
CO ₂	1.2282	KG CO ₂ /T-KM
METANO	0.000040652	KG CO ₂ /T-KM
NOX	0.0059472	KG CO ₂ /T-KM
CO ₂ EQ	3.0014819	KG CO ₂ EQ/T-KM
Transport, lorry > 16 t⁵⁵		
CO ₂ EQ	0.99977942	KG CO ₂ EQ/T-KM
Transport, lorry, 3.5 – 7.5 t⁵⁶		
CO ₂ EQ	0.99801980	KG CO ₂ EQ/T-KM
Factor de emisión eléctrico⁵⁷		
CO ₂ EQ	0.4999	T-CO ₂ EQ/MW-H

53 (IPCC 2007)
 54 (Ecolnvent 2013)
 55 Ibid
 56 Ibid
 57 (GEI México 2013)

MEMORIA DE CÁLCULO

Cálculos

Con los datos obtenidos por parte de los proponentes del plan, se procede a realizar los cálculos pertinentes.

Para el proceso de obtención y acopio del material se considera el promedio de todos los vehículos usados y la distancia promedio desde el centro de acopio.

Para el promedio de distancia de recolección de 10 km, se tiene que se pueden transportar aproximadamente 30 kg de EPS

$$\text{kg CO}_2 \text{ eq} = 0.03 \text{ t} \times 10 \text{ km} \times 3.001 \text{ kg/t}\cdot\text{km} = 0.9003 \text{ kg}$$

Para el proceso de reciclaje, se considera el factor de emisión eléctrico y el promedio de los procesos para el reciclaje del material.

$$\text{kg CO}_2 \text{ eq} = \frac{179 \text{ W}\cdot\text{h}}{1,000,000} \times 0.4999 \text{ t CO}_2 \text{ eq/MW}\cdot\text{h} = 8.48 \times 10^{-5} \text{ t CO}_2 \text{ eq} = 0.0848 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$$

Finalmente, los residuos de este reciclaje secundario, se considera solo la fracción del transporte al centro de disposición final, ya que es el costo ambiental extraordinario al reciclaje

Considerando una distancia promedio de 10 km y una masa de 0.1 kg de residuos por kg de EPS

$$\text{kg CO}_2 \text{ eq} = 0.0001 \text{ t} \times 10 \text{ km} \times 3.001 \text{ kg/t}\cdot\text{km} = 0.003 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$$

Resultados

El costo ambiental promedio del reciclaje de un kg de EPS es de 0.988 kg de CO₂ por kg de EPS reciclado.

Con el propio dato del ACV, sobre el costo ambiental de materia prima de PS y la distancia desde y hasta las plantas de procesamiento, podemos calcular el beneficio ambiental del reciclaje.

DATOS	KG CO ₂ EQ POR KG
Materia prima PS	4.27893
Transporte	0.029746201
Reciclaje de EPS	0.988
Total Disposición	0.102395838

Si restamos al valor de materia prima la suma del transporte más el reciclaje de EPS, menos el impacto por disposición final, obtenemos el beneficio ambiental. Al dividir el valor de materia prima menos el valor de reciclaje entre este valor y lo restamos del total, obtenemos el porcentaje de disminución de GEI por el reciclaje en México.

$$\text{kg CO}_2 \text{ beneficio} = (4.2789) \text{ kg CO}_2 \text{ eq} - (0.0297 + 0.9880 - 0.1024) \text{ kg CO}_2 \text{ eq} = 3.3636 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$$

$$\% \text{ reducción de impacto} = 1 - \frac{(4.2789 - 3.3636)}{4.2789} = 78.61\%$$

DGFAUT / 612 / 000236

Ciudad de México, a **03 JUL 2018**

HÉCTOR ARTURO ORTIZ CHÁVEZ
REPRESENTANTE LEGAL
TECNOLOGÍAS RENNUEVA S.A. DE C.V.
P R E S E N T E

En atención a su escrito recibido en esta Dirección General con fecha 14 de febrero de 2018; mediante el cual, conforme al numeral 10.3 de la Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, presenta a esta Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el **Plan de Manejo de Residuos de Poliestireno Expandido en México**, le comunico lo siguiente.

Con fundamento en el Artículo 8 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; 7 Fracción I, 19, 27, 28 Fracción III, 32 y 33 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos; 3, 8, 13, 14, 57 Fracción I y 59 de la Ley Federal del Procedimiento Administrativo; 16 y 23 del Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos y 1, 2 Fracción XVIII, 18, 19 fracción XXIII, 26 Fracciones XXIII y XXXII del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, esta Dirección General de Fomento Ambiental, Urbano y Turístico, otorga el Folio Número **PM-ROTR-018-2018** al Plan de Manejo denominado **Plan de Manejo de Residuos de Poliestireno Expandido en México** bajo la Modalidad Mixto y Colectivo de Ámbito Nacional, mediante el cual se toma conocimiento de su presentación y contenido; en el entendido que deberán observarse las disposiciones legales aplicables de cada una de las Entidades Federativas en que pretenda aplicarse dicho Plan.

Asimismo, y con fundamento en el artículo 26, fracción XVII del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales se solicita al interesado, se haga del conocimiento de esta Dirección General, preferentemente de manera semestral, los avances en la implementación del plan de manejo considerando en su contenido el periodo a reportar, las cantidades recolectadas o recibidas por empresas generadoras, el destino final y reciclaje de los residuos objeto del plan de manejo y las actividades de difusión previstas por el plan de manejo.




Avenida Ejército Nacional No. 223, Col. Anáhuac, C.P. 11320, Delegación Miguel Hidalgo, Ciudad de México,
Tel.: (55) 5628 0600 www.semarnat.gob.mx

SEMARNAT
SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental
Dirección General de Fomento Ambiental, Urbano y Turístico

Si por alguna razón existe la necesidad de cambiar o incorporar tanto residuos como participantes al plan de manejo, el titular del Plan de Manejo deberá notificarlo por escrito a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Sin otro particular reciba un cordial saludo.

**ATENTAMENTE
EL DIRECTOR GENERAL**


ING. LUIS ANTONIO JIMÉNEZ JIMÉNEZ



C.c.p. Ing. Rafael Pacchiano Alamán. - Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales. - Presente
C.P. Jorge Carlos Hurtado Valdez. - Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental. - Presente



Avenida Ejército Nacional No. 223, Col. Anahuac, C.P. 11320. Delegación Miguel Hidalgo, Ciudad de México.
Tel.: (55) 5628 0600 www.semarnat.gob.mx

Glosario

Aerogel: El aerogel o el humo helado es un material coloidal similar al gel, en el cual el componente líquido es cambiado por un gas, obteniendo como resultado un sólido de muy baja densidad (3 mg/cm^3 ó 3 kg/m^3) y altamente poroso, con ciertas propiedades muy sorprendentes, como su enorme capacidad de aislante térmico. Este material está generalmente compuesto por un 90,5% a un 99,8% de aire, es mil veces menos denso que el vidrio y unas tres veces más denso que el aire. Familiarmente es denominado humo helado, humo sólido o humo azul debido a su naturaleza semitransparente, sin embargo, tiene al tacto una consistencia similar a la espuma de poliestireno.

Ciclo de vida: Son todas las etapas de transformación por las cuales pasa un producto, consideradas desde la extracción de sus materias primas, incluyendo el desplazamiento geográfico (transporte) en cada una de estas etapas, hasta llegar a su destino final, ya sea como desecho o como producto reciclado.

CO₂ equivalente: Es un factor de medición de huella de carbono. Concentración de dióxido de carbono que podría causar el mismo grado de forzamiento radiativo que una mezcla determinada de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero.

Degradación química: Es la degradación que sufre un polímero al estar en contacto con sustancias químicas.

Densificado – densificar: Proceso de compactación, reducción de volumen y por ende aumento de densidad. Generalmente es usado en el sector del reciclaje.

Desechable: Se hace esta consideración a los tipos de productos que están diseñados para ser usados solo una vez.

D-limoneno: es una sustancia natural que se extrae del aceite de las cáscaras de los cítricos y que da el olor característico a los mismos. Pertenece al grupo de los terpenos, en concreto a de los limonoides, que constituyen una de las más amplias clases de alimentos funcionales y fitonutrientes, funcionando como antioxidantes.

Embalaje: Se considera material de embalaje a los productos destinados para ser parte de empaques y embarques. Generalmente su uso es para proteger el producto de golpes causados por impactos o mal manejo durante su transportación.

EPS residual: Poliestireno con defectos de expansión o defectos de calidad.

Extrusión: Proceso de formado de plásticos caracterizado por plastificar el material y hacerlo pasar por un orificio pequeño denominado dado.

Fitodegradación: Degradación por medio de hongos.

Fundición a espuma perdida: Proceso metalmeccánico en el cual se realiza una preforma en poliestireno expandido, se recubre con pintura cerámica y se cuela el hierro evaporando la espuma de poliestireno.

Hidroponía: La hidroponía o agricultura hidropónica es un método utilizado para cultivar plantas usando soluciones minerales en vez de suelo agrícola.

Inyección: Proceso de formado de plásticos caracterizado por plastificar el material para después depositarlo en un molde por medio de presión neumática.

N-butano, isopentano, neopentano, n-pentano y hexano: Hidrocarburos con bajo punto de evaporación.

Pellet: Forma granular de empaquetamiento compactado de materiales. Puede ser en forma cilíndrica, esférica, etc.

Pelletizado – pelletizar: Acción de fabricar o generar pellets.

Placa de construcción: Presentación de Poliestireno expandido utilizada en el ámbito de construcción. Puede ser en presentación de casetón (bloques intersticiales en las losas) O panel aislante para paredes.

Post consumo: Todo material que ha sido utilizado para el fin con el que se diseñó, en el caso del poliestireno expandido, hace referencia a vasos, cápsulas y charolas que han tenido contacto con alimentos.

Reciclaje primario: Consiste en la conversión del desecho plástico en artículos con propiedades físicas y químicas idénticas a las del material original. El reciclaje primario se hace con termoplásticos.

Reciclaje secundario: El reciclaje secundario convierte al plástico en artículos con propiedades que son inferiores a las del polímero original.

Scrap: Materia prima virgen, producto terminado sin usar o cualquier material que no cumple con los requisitos de calidad.

Termodensificado: Densificado realizado a partir de una fuente de calor auxiliar que permite aumentar la tasa de compactación.

Nomenclaturas

ACV: Análisis de Ciclo de Vida

ANIPAC: Asociación Nacional de Industrias del Plástico

CDMX: Ciudad de México

CO₂ eq: Dióxido de carbono equivalente

CO₂: Dióxido de Carbono

EPS: Poliestireno Expandido

GEI: Gases de efecto invernadero

ICV: Inventario de Ciclo de Vida

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change / Panel Inter-gubernamental de Cambio Climático

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

NMX: Norma Mexicana

NOM: Norma Oficial Mexicana

NO_x: Óxidos de Nitrógeno

PEE: Polietileno Expandido

PET: Polietilentereftalato

PETX: Polietilentereftalato Expandido

PIB: Producto Interno Bruto

PLA: Poliacido Láctico

PPE: Polipropileno Expandido

PS: Poliestireno

SEDEMA: Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México

SEMADET: Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del estado de Jalisco

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

tkm: tonelada/kilómetro

ZMG: Zona Metropolitana de Guadalajara

ZMM: Zona Metropolitana de Monterrey

ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México

Bibliografía

- Alliance of Foam Packaging Recyclers,. “2010 EPS Recycling rate report.” 2010.
- Asociación Nacional de Industrias del Plástico A.C., ANIPAC. *Anuario Estadístico ANIPAC*, 2014.
- Atkinson, Roger. “Atmospheric chemistry of VOCs and NOx.” *Atmospheric Environment (Elsevier)*, no. 34 (1998): 2063–2101.
- Banco Mundial. PIB a precios actuales USD. 2017. <http://data.worldbank.org/indicador/NY.GDP.MKTP.CD?locations=MX> .
- BASF, Aktiengesellschaft. *Process of preparing expandable thermoplastic polymers by postimpregnation*. Patent EP0575871 B1. 1992.
- Brinkmann-Rengel, S, and N Niessner. “Synthesis of Polystyrene—Polyacrylate Block Copolymers by Nitroxide-Mediated Radical Polymerization.” *ACS Symposium Series (ACS)*, 2000: 334-346.
- Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable S.A. de C.V. (CADIS). “Análisis de Ciclo de Vida de vasos desechables en México.” *Análisis de Ciclo de Vida*, Asociación Nacional de la Industria Química, México, 2013, 204.
- Centro Virtual de Cambio Climático de la Ciudad de México. “Evaluación de los impactos de los residuos sólidos bajo cambio climático en la Ciudad de México.” México, 2009.
- Chen, Z, W Pauer, H.U. Moritz, J Pruss, and H. J. Warnecke. “Modeling of the suspension polymerization process using a particle population balance.” *Chemical Engineering & Technology*, 1999: 22.
- CIPRES, Comisión de la Industria del Plástico Responsabilidad y Desarrollo sustentable. “Informe sobre reciclaje de EPS.” México: ANIQ, 2016. 30.
- Conde, Mónica. “Presente futuro de la industria Plástica en México.” *Ambiente Plástico*, 2012. 69.
- EcolInvent. “EcoQuerry - UPR.” Database 3.1. 2013.
- El Informador. “Planean App para rastrear camión de basura.” *El Informador*, abril 24, 2016.
- García Pineda, Javier Adrián. *Poliestireno residual : productos alternos*. Ciudad Universitaria: UNAM, 2010.
- García, Arnulfo. *Recomendaciones táctico - operativas para implementar un programa de logística inversa, estudio de caso en la industria del reciclaje de plásticos*. 2006.
- GEI México. *Factor de emisión eléctrico 2013*. 2013. <http://www.geimexico.org/factor.html>.
- Gustavo, Hernández. *Destilación atmosférica y al vacío*. n.d. <http://gustato.com/petroleo/destilacion.html> (accessed 07 11, 2017).
- H. Congreso de la Unión. “Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos.” 2015.
- Honeywell UOP. Lummus/UOP EBOne™ Process. n.d. <https://www.uop.com/ethylbenzene-styrene-ebone/> (accessed 07 11, 2017).
- IPCC. *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*. Cambridge University Press, 2007.

- James, Denis H. , and William M. Castor. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim: Wiley-VCH, 2005.
- JF Hillebrand. *Carbon Emissions Calculator: User Guide*. 2017. https://www.jfhillebrand.com/SitePages/en/Carbon_calculator_readme.aspx.
- Kniel, Ludwig, Olaf Winter, and Karl Stork. *Ethylene, keystone to the petrochemical industry*. M. Dekker, 1980.
- Konno, M, K Arai, and S Seito. "The effect of stabilizer on coalescence of dispersed drops in suspension polymerization of styrene." *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 1982: 15.
- Koppers, Corporation. *Foamed polymer particles of distinctive shape and method of making same*. US Patent 3023 175. 1962.
- Mohan, Anne Marie. *Greener Package, Knowledge exchange for sustainable packaging*. 06 12, 2013. https://www.greenerpackage.com/metrics_standards_and_lca/triangle_replaces_chasing_arrows_resin_identification_code (accessed 07 11, 2017).
- Morales, Roberto. "México, con el mayor déficit del mundo en productos plásticos." *El Economista*, julio 23, 2013.
- Noguchi, T., M. Miyashita, Y. Inagaki, and H. Watanabe. *A new recycling system for expanded polystyrene using a natural solvent*. 1998.
- Ortiz, Héctor. *Estudio de la interacción entre el proceso de extrusión y el eps*. 1. Ciudad Universitaria, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2014.
- Pérez Courtade, Luis. "Mancera entrega 76 camiones recolectores de basura." *Excelsior*, noviembre 18, 2015.
- Scheirs, John, and Duane Priddy. *Modern Styrenic Polymers: Polystyrenes and Styrenic Copolymers*. Wiley, 2003.
- Secretaría de Desarrollo Sustentable. "Solicitud de Acceso a la Información NL." Monterrey, Nuevo León, 2017.
- SEDEMA. Listado de autorizaciones RAMIR. 2017. <http://www.sedema.cdmx.gob.mx/servicios/servicio/ramir> .
- SEMADET. Listado de empresas autorizadas para realizar las diferentes etapas de manejo de RME. diciembre. 2017. <http://semadet.jalisco.gob.mx/medio-ambiente/residuos/gestion-integral-de-residuos> .
- SEMARNAT. "Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011." *México: Diario Oficial de la Federación*, 2013.
- Sony. "Orange R-net Programme." 2003.
- Villalobos, M. A., A. E. Hamielec, and P. E. Wood. "Bulk and suspension polymerization of styrene in presence of n-pentane: an evaluation of monofunctional and bifunctional initiation." *Journal of Applied Polymer Science*, 1993: 50.

TABLA DE ILUSTRACIONES

Tabla de Ilustraciones

<i>Ilustración 1</i> Código de identificación ASTM D7611 / D7611M	6
<i>Ilustración 2</i> Proceso de destilación	7
<i>Ilustración 3</i> Reacción del Etilbenceno para la formación de estireno e hidrógeno	8
<i>Ilustración 4</i> Molécula de Poliestireno	8
<i>Ilustración 5</i> Proceso de obtención del ethylbenceno a partir de gas de etileno	9
<i>Ilustración 6</i> El PS representa el 9% de la industria plástica	10
<i>Ilustración 7</i> Indicadores de la Industria del PS	11
<i>Ilustración 8</i> Distribución de la capacidad instalada en la producción de PS	11
<i>Ilustración 9</i> Composición de la producción de artículos de EPS	12
<i>Ilustración 10</i> Tipos de productos de poliestireno expandido	12
<i>Ilustración 11</i> Ciclo de vida del EPS	19
<i>Ilustración 12</i> Modelo propuesto para el manejo de residuos	22
<i>Ilustración 13</i> Primera etapa de cobertura del plan de manejo	24
<i>Ilustración 14</i> Segunda etapa del plan de manejo: Diferentes regiones del país	24
<i>Ilustración 15</i> Ubicación geográfica de Dart de México, S. de R.L. de C.V.	25
<i>Ilustración 16</i> Ubicación geográfica de Rennueva, S.A. de C.V.	26
<i>Ilustración 17</i> Ubicación geográfica de Marcos & Marcos de Mexico, S.A. de CV.	27
<i>Ilustración 18</i> Diagrama de flujo para el registro y monitoreo del plan de manejo	28





DART de MÉXICO, S. de R.L. de C.V.

Tel: 01 800 327 8377
www.reciclaunicel.com.mx



Tel: 01 55 58883111 ext. 1510
www.marcosymarcos.com.mx/mym/



Tel: 01 55 84377300
www.rennueva.com