



UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE PUEBLA

Escuela Superior de Ingeniería Química
Industrial

Trabajo de titulación:

**ALTERNATIVAS DE RECICLAJE PARA LA REDUCCIÓN DE
RESIDUOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO**

PRESENTA

Gabriela Torreblanca Bustos

MATRICULA

52800100

ASESOR

Mtro. Daniel Pedraza Hernández

Puebla, Pue. Septiembre 2022.



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyła**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

El uso de textos, imágenes, gráficas, 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 de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
JUSTIFICACIÓN.....	5
OBJETIVO GENERAL.....	7
OBJETIVOS PARTICULARES.....	7
Capítulo I.- GENERALIDADES DEL POLIESTIRENO EXPANDIBLE	
1.1.- Generalidades del Poliestireno expandible (EPS).....	8
1.1.1.-Composición del EPS.....	9
1.2.- Propiedades físicas y químicas del EPS.....	9
1.2.1.-Propiedades Físicas del EPS.....	9
1.2.2.-Propiedades Químicas del EPS.....	12
1.2.3.-Propiedades biológicas del EPS.....	13
1.2.4.- EPS ante el Fuego.....	14
1.3.-Obtención del EPS.....	14
1.3.1.- Pre-expansión.....	15
1.3.2.- Reposo intermedio y estabilización.....	16
1.3.3.- Expansión y Moldeado.....	16
1.3.4.- Proceso de transformación del EPS.....	17
1.4.- Aplicaciones del EPS.....	17
1.5.- Ventajas y desventajas del EPS.....	19
1.6.- Daños a la Salud.....	20
Capítulo II.- CICLO DE VIDA E IMPACTO AMBIENTAL DEL EPS	
2.1.- Análisis del ciclo de vida del EPS.....	22
2.1.1.- Menos es más.....	25
2.2.-Impacto ambiental.....	26
2.2.1.-Residuos.....	26
2.2.2.-Disposición final del EPS.....	27

2.3.-Reciclaje de EPS.....	28
2.3.1.-Problema de reciclaje de EPS.....	31
2.3.2.-Reciclaje de EPS en México.....	32
2.4.- Economía circular.....	34
2.5.- Residuos Plásticos de un solo uso.....	37
2.6.- Medidas en México y en el mundo para prevenir los plásticos de un solo uso.....	39

Capítulo III.- ALTERNATIVAS DE RECICLAJE DEL EPS EN MÉXICO.

3.1.-Inicios de Reciclaje de EPS en México.....	43
3.2.- Leyes que rigen el manejo de residuos plásticos.....	45
3.3.- Técnicas Actuales de Reciclaje de EPS en México.....	47
3.3.1.- Densificado.....	47
3.3.2.- Compactación.....	50
3.3.3.- Proceso Térmico y Solventes.....	53
3.3.4.- Gusanos que comen Unicel.....	57
3.4.- Importancia del Acopio.....	58

Capítulo IV.- COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DEL RECICLAJE DE EPS EXISTENTES EN EL RESTO DEL MUNDO Y RECOMENDACIONES.

4.1.- Equipos de Compactación.....	64
4.1.1.- Compactación por fusión.....	65
4.1.2.- Compactación por presión.....	66
4.1.3.- Compactación con vapor.....	66
4.1.4.- Densificado.....	67
4.1.5.- Reciclaje químico por Pirólisis.....	68
4.2.- Recomendaciones de Reciclaje.....	69
4.1.- Ventajas y Desventajas en las Técnicas de manejo de Residuos de EPS.....	73
4.2.-Concientización de reducir el uso de EPS.....	74

4.2.1.-Impacto ambiental.....	76
CONCLUSIONES.....	78
RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Propiedades físicas del EPS.....	12
Tabla 1.2 Estabilidades químicas del poliestireno expandido.....	12
Tabla 1.3 Ventajas del uso de EPS.....	19
Tabla 4.1 Comparación de técnicas para reducir desechos de EPS en México.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Identificación del EPS.....	8
Figura 1.2 Estructura molecular del EPS.....	9
Figura 1.3 Conductividad térmica contra densidad.....	10
Figura 1.4 Proceso de obtención de poliestireno como materia prima.....	15
Figura 1.5 Esquema de Transformación de EPS.....	16
Figura 1.6 Usos de unicel en diferentes sectores.....	19
Figura 1.7 Impacto negativo de la Espuma de poliestireno o EPS.....	21
Figura 2.1 Ciclo de vida de EPS.....	22
Figura 2.2 Vaso de unicel vs. Papel.....	23
Figura 2.3 Vaso de unicel se puede reciclar.....	24

Figura 2.4 Beneficios de reciclar EPS.....	29
Figura 2.5 Proceso Mecánico de compactación.....	30
Figura 2.6 Proceso de fusión de residuos de EPS.....	30
Figura 2.7 Sugerencia como llevar el residuo a reciclar.....	31
Figura 2.8 Economía circular vs. Economía lineal.....	35
Figura 2.9 Círculo de valor sobre la economía circular.....	36
Figura 2.10 El mundo de plástico.....	41
Figura 3.1 Centro de acopio Dart de México.....	44
Figura 3.2 Proceso de densificado.....	48
Figura 3.3 Proceso de peletización y limpieza del unigel reciclado.....	48
Figura 3.4 Mezcla de EPS con PS reciclado	49
Figura 3.5 Proceso de extrusión de molduras para marcos	49
Figura 3.6 Ensamble de marcos reciclados con unigel	50
Figura 3.7 Compactación por tornillo.....	51
Figura 3.8 Compactadora hidráulica vertical.....	51
Figura 3.9 Unigel en la construcción.....	52
Figura 3.10 Moldeado por vapor de bloques de construcción.....	53
Figura 3.11 Proceso térmico de disolución del unigel.....	54
Figura 3.12 Centrifuga para realizar macetas por roto moldeo	55
Figura 3.13 Obtención de fibra ecológica a partir de materia plástica.....	55
Figura 3.14 Pinturas ecológicas con unigel reciclado.....	56
Figura 3.15 Aplicación del impermeabilizante de unigel reciclado.....	57
Figura 3.16 Gusano Tenebrio comiendo unigel.....	58

Figura 3.17 Centros de acopio en México.....	59
Figura 3.18 Proceso general de reciclaje.....	59
Figura 3.19 Maquina densificadora Rennueva.....	61
Figura 4.1 Países asociados al acuerdo Internacional de reciclaje de EPS.....	62
Figura 4.2 Compactadora y trituradora.....	64
Figura 4.3 Compactadora por fusión (Kurtz ersa USA).....	65
Figura 4.4 Compactadora por tornillo y fusión.....	66
Figura 4.5 Corte de material y compactación por vapor.....	67
Figura 4.6 Proceso de transformación de EPS por densificación.....	67
Figura 4.7 Proceso de reciclaje químico por pirólisis.....	69
Figura 4.8 Compromisos del Acuerdo Nacional para la Nueva Economía del Plástico en México.....	71
Figura 4.9 Reciclaje de uniceL.....	74
Figura 4.10 El uniceL sí se recicla.....	75

ALTERNATIVAS DE RECICLAJE PARA LA REDUCCIÓN DEL RESIDUO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

INTRODUCCIÓN

Los plásticos se han vuelto un tema de moda actualmente, debido al impacto ambiental que este está provocando a nuestro planeta; pero así también los plásticos forman parte de las cosas que el humano consume diariamente, ya que en su mayoría todos los productos que utilizamos contienen partes de material plástico.

De acuerdo a los expertos por parte de las Naciones Unidas, cada año se vierten a los océanos 8 millones de toneladas de plástico, lo que amenaza la vida marina y humana, destruyendo también los ecosistemas naturales. Donde el 79% de los desechos plásticos generados, en su mayoría se encuentra en vertederos o son tirados al medioambiente y sólo el 9% se recicla y el 12% se incinera (ONU, 2019). Pero el problema con los desechos plásticos también se debe a que como sociedad no le damos el uso adecuado a los productos, tal es el caso de aquellos productos que son utilizados solo unos minutos y son tirados con facilidad o están aquellos que tienden a tener mayor durabilidad de uso, pero su disposición final no es la adecuada, lo que lleva al incremento de desechos plásticos. Y todo ello también lleva a que parte de la sociedad, el sector industrial y el gobierno no cuenta con los conocimientos suficientes sobre el reciclaje de los plásticos, así como de la falta de tecnología e infraestructura para la transformación de nuevos productos a partir de la recuperación del reciclaje como materia prima, lo que no permite una economía circular, cuyo principal objetivo es la recuperación al máximo de los desechos.

Uno de los plásticos que forma parte de los más utilizados y parte de la huella de los desechos plásticos es el poliestireno expandido (EPS), que es un polímero obtenido a partir de la polimerización del estireno, caracterizado por ser ligero, resistente a la humedad y ser fácil de moldear, por lo que es utilizado para la fabricación de diversos productos en diferentes sectores.

El poliestireno expandido es un plástico que tarda más de 500 años en descomponerse cuando no existe mucha presencia de oxígeno, por lo que la recuperación y reciclaje de este material puede ayudar a contribuir de manera significativa a la reducción de desechos y a los efectos nocivos causados al medio ambiente, como al medio marítimo, al suelo por su lenta degradación y a la contaminación del aire, ya que al ser quemados estos liberan gases que pueden ser nocivos para la salud. Por lo que realizar nuevas alternativas de reciclaje permite una evaluación de factibilidad económica que agrega gran valor debido a la posibilidad de proyectar un sistema de gestión de tratamiento del EPS, obteniendo un beneficio tanto económico como ambiental por medio del reciclaje de este material plástico.

A pesar de ser un plástico caracterizado por ser 100% reciclable, este no es aprovechado en su totalidad en el país, por lo que el siguiente trabajo tiene como objetivo dar a conocer las propuestas y formas de reciclaje del EPS que existen en el país, así como de aquellas en desarrollo, así como la búsqueda de aquellos centros de acopio que se dediquen al reciclaje del EPS en el país y de todas aquellas iniciativas que permiten la recuperación de dicho material.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día el aumento de la población ha jugado un papel importante en el tema del cuidado del medio ambiente, ya que a mayor población, mayor demanda de recursos naturales y materiales, debido a que la población se preocupa más por satisfacer sus necesidades mediante el consumo desenfrenado sin medir el impacto ambiental, por lo que el aumento de residuos y desechos se ven reflejados en el medio ambiente, a través de los cambios climáticos y agotamiento de recursos naturales.

Desafortunadamente en México, así como algunos otros países, cuya sociedad no cuenta con una cultura clara del reciclaje y recuperación de residuos y sus beneficios, se ve reflejado un aumento de desechos, ya que en ocasiones a los productos no se le da la totalidad de su vida útil y solo son desechado como basura, por lo que la cantidad de basura que es desechada diariamente es enorme. Y para agravar dicho problema, la aplicación del reciclaje en los productos considerados como desechos, puede darle otro giro a la reducción de residuos mediante su reutilización y reciclaje, siendo un paso inicial para combatir dicho problema.

En el caso de los plásticos, hoy en día se ha vuelto parte fundamental de los productos de consumo diario, donde en su mayoría son elaborados de diferentes polímeros. Pero no gran parte del plástico es reciclado, ya que simplemente son llevados a los rellenos sanitarios o algunos son destinados a terminar en la calle, los ríos, lagos y océanos, agravando la vida marina, la fauna y la humana.

Siendo China uno de los principales generadores de residuos por su alta población, pero también uno de los principales recolectores de plásticos, por lo que son la principal industria del reciclaje para la creación de nuevos productos. Lo que nos dice sobre la importancia de generar más cultura del reciclaje y dar un buen uso de los polímeros, ya sea antes o después de su disposición final y así disminuir un poco los residuos que día a día se generan, permitiéndonos contribuir al cuidado del medio ambiente.

Donde el poliestireno expandido es uno de los principales residuos generados tanto en casa, oficinas, etc. y que de acuerdo a la información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) describe que en México se consume anualmente alrededor de 13 mil millones de piezas entre vasos, platos y placas para la construcción, por lo que equivale un nivel alto de residuos de alrededor de 350 mil toneladas (INEGI, 2016). Además para su producción se requiere del uso de agentes químicos como benceno y estireno los cuales son cancerígenos, y en el peor de los casos si se llega a quemar sin ningún tratamiento especial, este libera ácido cianhídrico que no solo afecta al humano si no al medio ambiente.

Por lo que se cuestiona ¿Qué podemos hacer como sociedad para reducir los residuos plásticos del país? ¿Qué estrategias de reciclaje se pueden desarrollar con el uso de residuos de poliestireno expandido? ¿Qué beneficios tiene a futuro el reciclaje de EPS? Por lo que el presente trabajo pretende dar respuesta a estos cuestionamientos a través del análisis de investigación de los procesos de reciclaje de residuos de poliestireno expandido en el país y en el mundo.

JUSTIFICACIÓN

El tema del reciclaje en el mundo se ha vuelto un tema popular en los últimos años ya que es de interés para todos aquellos que se preocupan por el cuidado del medio ambiente. Como ya se ha mencionado anteriormente, el plástico es uno de los materiales más utilizados para la generación de la mayoría de los productos que utilizamos a diario, tales como los de uso doméstico, personales, industriales, en el sector agrícola, etc. Por lo que se puede decir que el plástico está presente en todo lo que nos rodea. Y es por lo anterior, la importancia de una conciencia del uso adecuado de los plásticos, que como bien hay plásticos tanto de un solo uso o desechable, como de uso regenerado, los cuales provienen tanto de recursos naturales y derivados del petróleo, lo que lleva al agotamiento de estos mismos recursos y que en un futuro puede haber una extinción.

Por lo que se dice que la generación del plástico no es el problema, si no el uso final que le damos. Y según la ONU en el mes del día mundial del medio ambiente (2019) señala que cada año se vierten en los océanos 8 millones de toneladas de plástico, por lo que el principal objetivo es concientizar la reducción de residuos.

En México, el 10,9% de los 53,1 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos que se generan al año son plásticos, según datos de 2015 de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2015). Y siendo el poliestireno expandido uno de los plásticos de alto consumo, los cuales es común verlo presente en eventos sociales, en desechables o charolas de uso alimenticio, porta CD's, por mencionar algunos, los cuales en su mayoría solo son utilizados una vez y que posteriormente se convierten en desechos, por lo que contribuye al aumento desenfrenado de residuos del país.

En consecuencia, el estudio del EPS permite generar nuevas alternativas de reciclaje para saber cómo ser reutilizado, dándole una nueva utilidad y así contribuir a un país más verde, ya que antes el país exportaba material para el reciclaje a países como China y EUA debido a que en México no se contaba con empresas dedicadas al reciclaje, pero una vez que el mercado mundial del reciclaje poco a

poco empezó a tener una mayor demanda, México ha tomado interés en generar empresas tanto privadas como gubernamentales dedicadas al reciclaje de este material así como de diversos materiales. Actualmente existen 16 empresas recicladoras en el país que consumen el 60,1% de los plásticos reciclados y solo se exporta el 39% (Vázquez, 2018) y cada vez se han sumado más las iniciativas preocupadas por recuperar y aprovechar los desechos plásticos, tanto desde la producción hasta el consumo.

Esperando con el presente trabajo educar y concientizar de los beneficios del reciclaje y reutilización del EPS, por medio de las nuevas propuestas y formas que existen para reciclar, reutilizar y reducir los desechos generados a partir del EPS, así como dar a conocer que el plástico no siempre es el enemigo del medio ambiente.

OBJETIVOS

Objetivo general

Investigar, concientizar y utilizar las técnicas de reciclaje en el poliestireno expandido (EPS), con el fin de reducir los residuos en el país, debido a que su tiempo de degradación es de alrededor de 500 años.

Objetivos específicos

- Identificar problemas ambientales que se generan en el país a partir de los residuos de EPS.
- Investigar las características físicas y químicas del EPS para su introducción en el sector de producción del reciclaje.
- Analizar las técnicas de reciclaje de EPS que se encuentran actualmente en el país.
- Comparar técnicas actuales de reciclaje de EPS de México con el del resto del mundo.

Capítulo I.- GENERALIDADES DEL POLIESTIRENO EXPANDIBLE

1.1.- Generalidades del Poliestireno expandible (EPS)

El poliestireno expandido o también conocido como unicel, hielo seco o corcho blanco, es uno de los cuatro plásticos cuyo uso combinado representa el 75% del uso mundial de plásticos. (Harper, 1999). Donde los cuatro productos termoplásticos son Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Policloruro de vinilo (PVC) y Poliestireno (PS), los cuales quiere decir que tienen la característica de poderse moldear varias veces mediante presión y calor, así como de disolverse en ciertos disolventes y particularmente el EPS es derivado del termoplástico Poliestireno.

El Poliestireno Expandido (EPS) se define técnicamente: "Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre-expandidas de poliestireno expandible o uno de sus co-polímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire" (ANAPE, 2019).

El EPS es reconocido por tener un color blanco, baja densidad, resistencia y ligereza debido a que es un plástico celular constituido por el 95% por de aire, sólo 5% de plástico y por su facilidad de procesamiento tiene una amplia aplicación como en la fabricación de envases, vasos desechables, ampliamente utilizado en la industria de alimentos; pero como todos los plásticos, sus principales virtudes como la resistencia a la humedad, eficiencia térmica y durabilidad, son causas de su estabilidad y lenta degradación en el ambiente.

Es identificado con el número 6 y las letras PS según la clasificación del triángulo equilátero de los 7 tipos de plásticos (Ver Figura 1.1).

Figura 1.1 Identificación del EPS



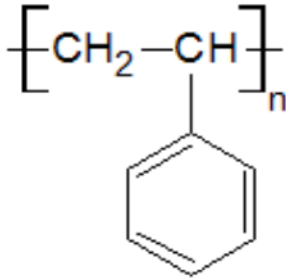
Fuente: (símbolo internacional del poliestireno, 2019).

1.1.1.- Composición del EPS

La principal composición del EPS es el poliestireno sólido, el cual tiene formas de perlas y un agente expansor como el pentano.

Cuya estructura molecular es: C_8H_8

Figura 1.2 Estructura molecular del EPS



Hydrocarburo de cadena larga, 95% de Poliestireno y 5% gas pentano antes de la expansión (NOVA Chemicals, 2005).

1.2.- Propiedades físicas y químicas del EPS

1.2.1.- Propiedades Físicas del EPS

A continuación se presentan las propiedades más importantes del poliestireno expandido que se deben de tomar en cuenta para conocer su comportamiento y este varía dependiendo de la densidad, teniendo una explicación breve de ellas.

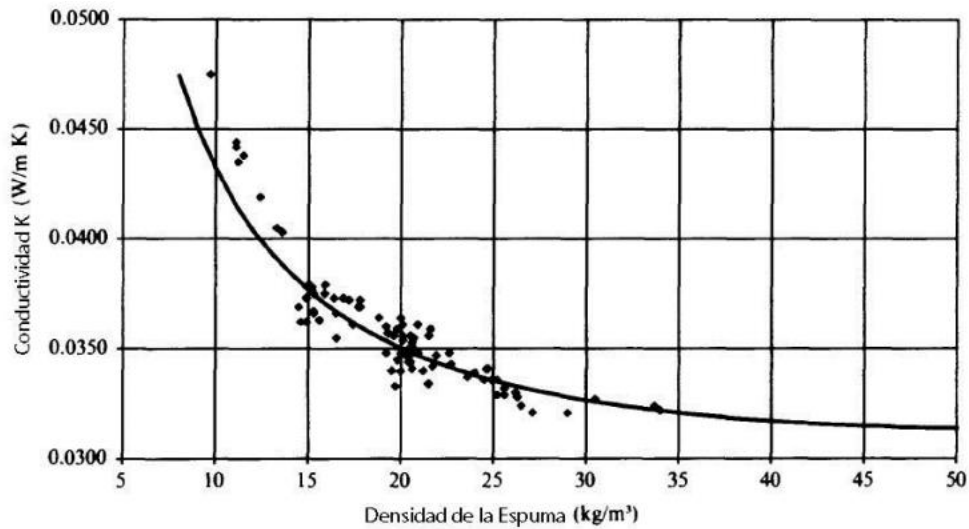
- Densidad

Los productos y artículos acabados en poliestireno expandido (EPS) se caracterizan por ser extraordinariamente ligeros aunque resistentes. En función de la aplicación las densidades se sitúan en el intervalo que va desde los 10 kg/m³ hasta los 50 kg/m³ (Samper M.D. et. al., 2008).

- Conductividad térmica

Una de las propiedades más importantes de este material es la conductividad térmica, ya que al estar compuesto principalmente por aire, el material se comporta de forma aislante. Esta propiedad varía dependiendo de la relación de Poliestireno y aire, es decir del grado de expansión del Poliestireno, la cual se refleja directamente en la densidad del material. A menor densidad, su conductividad térmica es menor (Figura 1.3)

Figura 1.3 Conductividad térmica contra densidad



- Resistencia mecánica: La resistencia a los esfuerzos mecánicos de los productos de EPS se evalúan generalmente a través de las siguientes propiedades:
 - Resistencia a la compresión para una deformación del 10%.
 - Resistencia a la flexión.
 - Resistencia a la tracción.
 - Resistencia a la cizalladura o esfuerzo cortante.
 - Fluencia a compresión

Este material al ser una espuma semirrígida, no presenta una rotura espontánea de su estructura celular. Por esta razón un ensayo de tracción no es posible, así que se realiza un ensayo de deformación a compresión al llegar a comprimirse un 10%.

- Aislamiento térmico

Los productos y materiales de poliestireno expandido (EPS) presentan una excelente capacidad de aislamiento térmico frente al calor y al frío. Esta buena capacidad de aislamiento térmico se debe a la propia estructura del material que esencialmente consiste en aire ocluido dentro de una estructura celular conformada

por el poliestireno. Aproximadamente un 95% del volumen del material es aire y únicamente un 5% materia sólida (poliestireno) y se sabe que el aire en reposo es un excelente aislante térmico (ANAPE, 2018).

- Comportamiento frente al agua

El poliestireno expandido es conocido por ser no higroscópico, o sea que no absorbe el agua o humedad. Incluso sumergiendo el material completamente en agua, los niveles de absorción son mínimos con valores oscilando entre el 1% y el 3% en volumen. Los cuales los vemos presentes en productos térmicos, cuya capacidad de aislamiento térmico de un material está definida por su coeficiente de conductividad térmica λ que en el caso de los productos de EPS varía, al igual que las propiedades mecánicas, con la densidad aparente (ANAPE, 2018).

- Estabilidad dimensional

Los productos de EPS, como todos los materiales, están sometidos a variaciones dimensionales debidas a la influencia térmica. Estas variaciones se evalúan a través del coeficiente de dilatación térmica que, para los productos de EPS, es independiente de la densidad y se sitúa entre 0.05 y 0.07 mm por metro de longitud y grado centígrado. A modo de ejemplo una plancha de aislamiento térmico de poliestireno expandido de 2 metros de longitud y sometida a un salto térmico de 20° C experimentará una variación en su longitud de 2 a 2.8 mm (ANAPE, 2018).

- Estabilidad frente a la temperatura

El rango de temperaturas en el que este material puede utilizarse con total seguridad sin que sus propiedades se vean afectadas no tiene limitación alguna por el extremo inferior. Con respecto al extremo superior el límite de temperaturas de uso se sitúa alrededor de los 100°C para acciones de corta duración.

A continuación, en la tabla 1.1 se muestra un resumen detallado de las propiedades físicas mencionadas anteriormente:

Tabla 1.1 Propiedades físicas del EPS.

PROPIEDADES	NORMA UNE	UNIDADES	VALORES MARGEN DE OSCILACIÓN
DENSIDAD Nominal	EN-1602	Kg/m ³	10-35
DENSIDAD Mínima		Kg/m ³	9-31.5
ESPESOR Mínimo		Mm	50-20
Conductividad térmica (10°C)	92201	mW/(m-K)	46-33
Tensión por COMPRESIÓN con deformación del 10%	EN-826	KPa	30-250
Resistencia permanente a la COMPRESIÓN con un deformación del 2%		KPa	15-70
Resistencia a la FLEXIÓN	EN-12089	KPa	50-375
Resistencia al CIZALLAMIENTO	EN-12090	KPa	25-184
Resistencia a la TRACCIÓN	EN-1607 EN-1608	KPa	<100-580
Módulo de Elasticidad		MPa	<1.5-10.8
Indeformabilidad al calor instantánea		°C	100
Indeformabilidad al calor duradera con 20.00 M/m ²		°C	80
Coefficiente de dilatación térmica lineal		1/K	5-7
Capacidad térmica específica		J/(kg-K)	1210
Clase de reacción al fuego		-	M1 o M4
Absorción de agua en condiciones de inmersión al cabo de 7 días	EN-12087	%(vol.)	0.5-1.5
Absorción de agua en condiciones de inmersión al cabo de 28 días	EN-12087	%(vol.)	1-3
Índice de resistencia a la difusión de vapor de agua	92226	-	<20-120

Fuente: Elaboración propia con base en datos de (ANAPE, 2018).

1.2.2.-Propiedades Químicas del EPS

En la tabla 1.2 se presenta la estabilidad química del EPS ante diferentes sustancias activas:

Tabla 1.2 Estabilidades químicas del poliestireno expandido

Sustancia Activa	Estabilidad
Solución salina/ Agua de mar	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Jabones y soluciones de tensioactivos	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada

Lejías	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácidos diluidos	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácido clorhídrico (al 35%), ácido nítrico (al 50%)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácidos concentrados (sin agua) al 100%	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Soluciones alcalinas	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Disolventes orgánicos (acetona, esterres,..)	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Hidrocarburos alifáticos saturados	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Aceites de parafina, vaselina	Relativamente estable: puede contraerse o ser atacada su superficie
Aceite de diésel	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Carburantes	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Alcoholes (metanol, etanol)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Aceites de silicona	Relativamente estable: puede contraerse o ser atacada su superficie

Fuente: Elaboración propia con base en datos de (Textos científicos, 2005).

1.2.3.- Propiedades biológicas del EPS

El poliestireno expandido no constituye a un sustrato nutritivo para algunos microorganismos. Se considera ser imputrescible, no enmohece y no se descompone, tampoco se ve atacado por las bacterias del suelo. Por lo que los productos de EPS al cumplir con las exigencias sanitarias y de seguridad e higiene establecidas, pueden ser utilizados con total seguridad en la fabricación de artículos de embalaje destinados al contacto alimentario.

El EPS no tiene ninguna influencia medioambiental perjudicial y no es peligroso para el agua al no degradarse fácilmente. Se pueden adjuntar a los residuos domésticos o bien ser incinerados.

En cuanto al efecto de la temperatura, mantiene las dimensiones estables hasta los 85°C, permitiendo la no descomposición ni formación de gases nocivos (Textos científicos, 2005).

1.2.4.- EPS ante el Fuego

El principal riesgo asociado con el transporte, almacenamiento, manejo y proceso del EPS es el fuego; ya que es inflamable. El agente expansor como el pentano se evapora de las perlas durante el almacenamiento y proceso, y se evapora también de los productos moldeados, a distintas velocidades.

Los vapores de pentano son incoloros y pesan aproximadamente 2.5 veces más que el aire. Son inflamables en mezclas de vapor en aire de 1.4% a 8.3% en volumen; las mezclas dentro de este rango pueden inflamarse con fuentes de ignición de baja intensidad. Por lo que al manejar EPS se debe eliminar las fuentes de ignición (incluyendo las chispas estáticas) y evitar la acumulación de vapor de pentano (NOVA Chemicals, 2005).

Es importante destacar que el EPS no contiene ningún gas de la familia de los CFC (clorofluorocarbonos), por lo que la combustión del EPS en instalaciones de recuperación energética no produce gases dañinos, ya que las emisiones se controlan y filtran cuidadosamente. En las modernas plantas de combustión, el EPS libera la mayor parte de su contenido energético en forma de calor, ayudando a la combustión de otros residuos y emitiendo sólo dióxido de carbono, vapor de agua y trazas de cenizas no tóxicas.

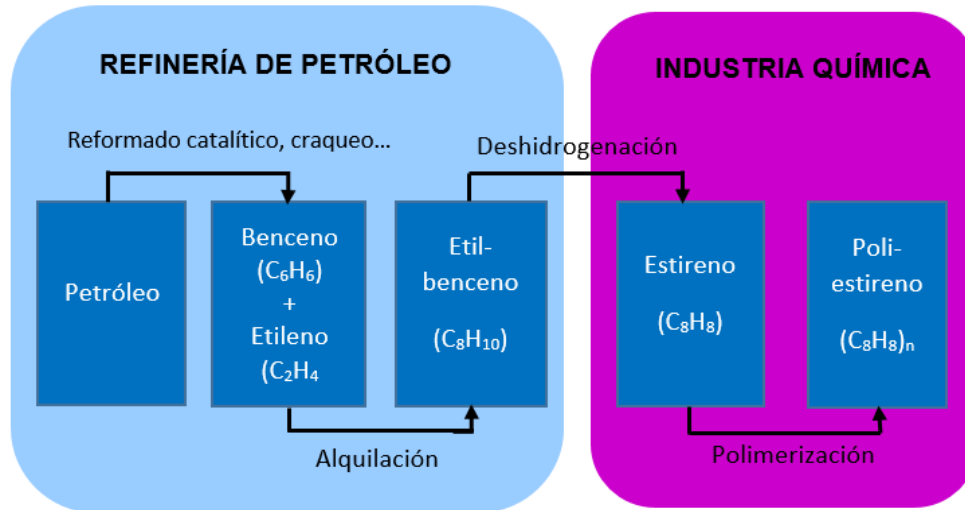
1.3.- Obtención del EPS

Para la obtención de la materia prima del EPS proveniente del poliestireno, se empieza en la refinería de petróleo mediante procesos de reformado catalítico, hidrodeshidrogenación, dismutación del tolueno y craqueo lo cual permite la producción de benceno y tolueno. Estos compuestos se mezclan para formar el etilbenceno, que por medio de una deshidrogenación (pérdida de un par de átomos de hidrógeno) del etilbenceno se obtiene el estireno.

Luego para formar el poliestireno se polimeriza el estireno, es decir se junta una cantidad "n" de monómeros de estireno para formar un polímero. Este al ser una cadena larga es más estable y tiene la apariencia y dureza de un plástico.

Posteriormente se realiza el proceso de obtención de pellets de poliestireno, dicho proceso se ilustra en la **Figura 1.4**.

Figura 1.4 Proceso de obtención de poliestireno como materia prima.



Fuente: Elaboración propia basado en (Ecolimpio, 2021)

Una vez obtenida la materia prima, se lleva a cabo el proceso de obtención de EPS mediante la pre-expansión, reposo intermedio y estabilización, expansión y moldeo, la cual se presenta a continuación:

1.3.1.- Pre-expansión

La materia prima que es el poliestireno sólido se calienta en unas máquinas especiales denominadas pre-expansores, con vapor de agua a temperaturas situadas entre aprox. 80 y 110°C. En función de la temperatura y del tiempo de exposición la densidad aparente del material disminuye de unos 630 kg/m³ a densidades que oscilan entre los 10 - 30 kg/m³. En donde las perlas compactas de la materia prima se convierten en perlas ligeras de plástico celular con pequeñas celdillas cerradas que contienen aire en su interior (ANAPE, 2019).

1.3.2.- Reposo intermedio y estabilización

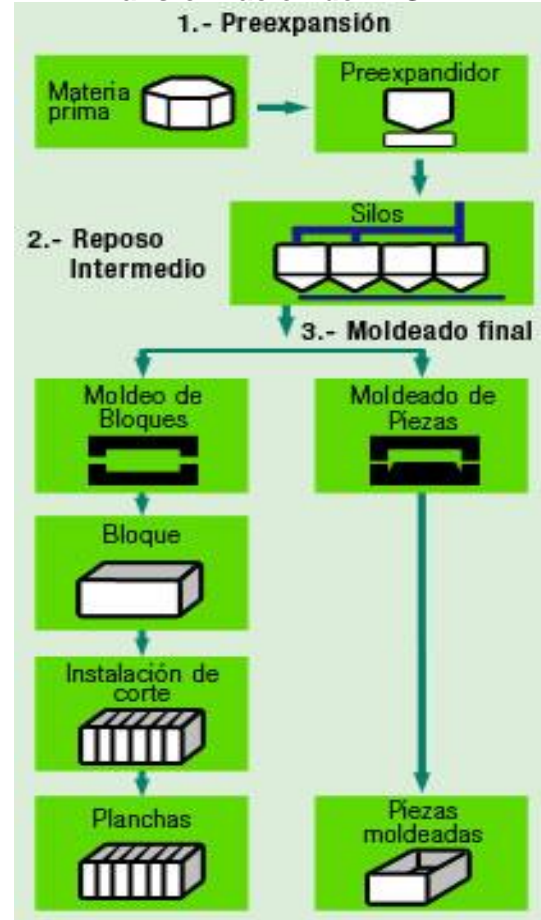
Al enfriarse las partículas recién expandidas crea un vacío interior que es preciso compensar con la penetración de aire por difusión. De este modo las perlas alcanzan una mayor estabilidad mecánica y mejoran su capacidad de expansión, lo que resulta ventajoso para la siguiente etapa de transformación. Este proceso se desarrolla durante el reposo intermedio del material pre-expandido en silos¹ ventilados que al mismo tiempo secan las perlas.

1.3.3.- Expansión y Moldeado

En esta etapa las perlas pre-expandidas y estabilizadas se transportan a unos moldes donde nuevamente se les comunica vapor de agua y las perlas se sueldan entre sí.

Las perlas pre-expandidas se cargan en un molde agujereado en el fondo, la parte superior y los laterales, con el fin de que pueda circular el vapor. Las perlas se ablandan, el pentano se volatiliza y el vapor entra de nuevo en las cavidades. En consecuencia, las perlas se expanden y como están comprimidas en el interior del volumen fijo del molde, se empaquetan formando un bloque sólido, cuya densidad viene determinada en gran parte por el alcance de la expansión en la etapa inicial de pre-expansión. Durante la operación se debe aplicar ciclos de calentamiento y enfriamiento, cuidadosamente seleccionados para el mejor equilibrio económico de la operación y para conseguir una densidad homogénea a través del bloque, así como una buena consolidación de los gránulos (ANAPE, 2019).

Figura 1.5 Esquema de Transformación de EPS



Fuente:(ANAPE, 2019).

¹ Un silo es una construcción diseñada para almacenar grano y otros materiales.

Donde el producto final puede ser en forma de bloques de diferentes tamaños, pellets, granulado (como forma de nieve), el cual va depender del tipo de proceso de transformación utilizado para su obtención.

1.3.4.- Proceso de transformación del Poliestireno

El poliestireno puede ser transformado mediante los siguientes procesos de transformación de los plásticos:

- **Extrusión:** El polímero es calentado y empujado por un tornillo sin fin y pasa a través de un orificio con forma definida de acuerdo a la forma deseada. Se producen por extrusión, tuberías, láminas, perfiles, vigas y materiales similares.
- **Inyección:** El polímero se funde con calor y fricción (a través de un tornillo sin fin) y se inyecta en un molde frío donde el plástico solidifica adoptando la forma del molde. Este método se usa para fabricar objetos como láminas, obtención de pellets, etc.
- **Termoformado:** Este proceso tiene gran aceptación principalmente en el sector de envase de alimentos, médico y promocional. Consiste en partir de una lámina que se coloca por encima o por debajo de un molde (a veces se usa un molde macho y otro hembra y la lámina se coloca en medio de ambos). Se aplica calor para que la lámina se reblandezca y una vez que esto sucede, se empuja el molde hacia la lámina para que tome la forma de éste. Alternativamente se aplica presión positiva o vacía para que la lámina se adose al molde y adquiera su forma (QuimiNet, 2012).

1.4.- Aplicaciones del EPS

El uso del EPS tiene una amplia aplicación por su versatilidad de transformación, ya que es un plástico que cuenta con un 95% de aire y por su bajo costo de producción permite que destaque en diversos mercados como de embalaje, construcción, desechables, etc. Se usa como aislante doméstico y de

electrodomésticos, como envase protector liviano, tablas para surf, servicios de alimentos y envasado de alimentos, repuestos automotrices, sistemas de estabilización de caminos y acotamientos, entre otros (ChemicalSafety, 2019).

El poliestireno en los sistemas de aislamiento

La espuma ligera de poliestireno proporciona un excelente aislamiento térmico en varias aplicaciones tales como paredes y techos de edificios, refrigeradores y neveras, e instalaciones industriales de almacenamiento en frío. El aislamiento de poliestireno es inerte, durable y resistente al daño causado por el agua.

El EPS en la industria automotriz

Se usa para fabricar molduras, paneles de absorción de energía para puertas y espuma para mitigar el ruido. Así también es común encontrarlo en asientos de seguridad para niños, siendo un material resistente y con buena estabilidad al impacto.

El poliestireno en el sector alimenticio

El envasado para el servicio de alimentos de poliestireno suele ser mejor aislante, mantiene los alimentos frescos por más tiempo, no produce mohos y bacterias, es fácil de transportar por su ligereza. Los productos obtenidos pueden ser hieleras térmicas, charolas, así también en la utilidad de platos, vasos y todos aquellos en contacto con el alimento y que requieran estabilidad térmica; siendo una buena alternativa para el sector alimenticio al ser un producto económico (ChemicalSafety, 2019).

Poliestireno expandido en electrodomésticos

El EPS puede incorporar aditivos para evitar la excesiva carga electrostática, tales como aislantes como en aires acondicionados, hornos, microondas, apto para empaques de CD's y DVS.

Poliestireno expandido en la construcción

El EPS es utilizado en la construcción como un aislante térmico y acústico dentro de las paredes, en el caso de aislante para lugares de clima cálido permite un ahorro de energía y buen acondicionamiento. Así también para reducir el peso en los entrepisos al colar los mismos o para nivelar los cimientos según las necesidades de algunos tipos de suelos.

Figura 1.6 Usos de unigel en diferentes sectores.



1.5.- Ventajas y desventajas del EPS

A continuación, en la tabla 1.3 se muestran las ventajas del uso del EPS en diferentes productos:

Tabla 1.3 Ventajas del uso de EPS

Productos	Ventajas	Propiedades
Cajas apilables de alimentos. Embalaje de mercadería pesada	Embalajes resistentes a la presión con buena rigidez al doblado y estabilidad de apilado.	Resistencia a la presión
Embalajes de mercadería frágil	Acción de amortiguación calculable y por lo tanto segura.	Alta capacidad de amortiguación de golpes.
Envases y embalajes para transporte aéreo	Tara baja, invariable y en muchos casos no es necesario tomarla en cuenta.	Bajo peso: densidad aparente entre 20 y 30 Kg/m ³ .

Cajas para productos congelados	Alta capacidad de aislamiento térmico. No se vuelve frágil a bajas temperaturas.	Reducida conductividad térmica e inalterabilidad al frío.
Envases de contacto directo con productos alimenticios	No posee ningún elemento contaminante que afecte el contenido.	No permite la proliferación de hongos y bacterias.
Embalajes para objetos complicados de superficies no planas	Material versátil, altamente adaptable a las formas más complejas.	Libertad de diseño en piezas moldeables.
Vasos térmicos	Mantiene la temperatura y la efervescencia de los líquidos que contiene.	Elevado poder aislante y de conservación del gas en las bebidas carbonatadas.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de (Textos científicos, 2005)

Una de las desventajas del poliestireno expandido es que debido a que está fabricado a base de los polímeros de estireno, benceno y etileno, los cuales provocan irritación de los ojos, causa problemas gastrointestinales, dolores de cabeza, fatiga y daño al sistema nervioso. El estireno está listado como un posible carcinógeno por la EPA (Environmental Protection Agency) y la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer, ya que estudios sugieren que la emisión de estireno estrógeno, posiblemente interfiere con la función hormonal (Salud.fdictimes, 2014).

También una desventaja es debido a que está compuesto por 95% de aire y 5% de poliestireno, este causa volúmenes considerados de desechos en los vertederos, así como causa contaminación a los océanos cuando no son desechados correctamente, por lo que la fauna marina se ve afectada.

1.6.- Daños a la Salud

Los artículos de espuma de poliestireno contienen sustancias químicas tóxicas tales como el estireno y benceno. Ambas sustancias se consideran cancerígenas y pueden acarrear complicaciones de salud adicionales, incluyendo efectos perjudiciales sobre el sistema nervioso, respiratorio y reproductivo, y posiblemente en los riñones y el hígado. Varios estudios han demostrado que las toxinas en los

recipientes de espuma de poliestireno se pueden traspasar a los alimentos y las bebidas, y este riesgo parece aumentar cuando las personas calientan la comida manteniéndola en el recipiente.

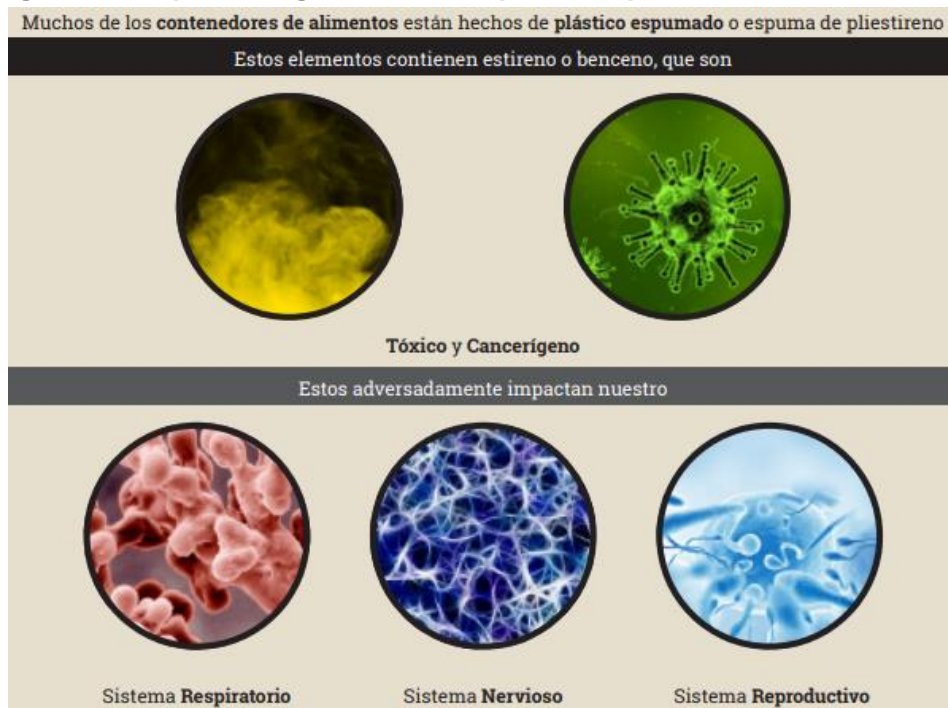
Hay formas en la que los compuestos tóxicos del EPS pueden emigrar a los alimentos, por lo que debemos de evitar tales como:

Calentar la comida en el microondas en envases de EPS, ya que al calentar los alimentos en empaques o recipientes de EPS, estos se podrían derretir o deformar haciendo que compuestos tóxicos se impregnen en los alimentos y emigren componentes tóxicos a dichos alimentos, esto siempre y cuando son recalentados y expuestos al microondas por mucho tiempo.

Evitar consumir líquidos calientes y con alto contenido de grasa en envases de EPS es una recomendación.

Así también se sabe que al exponerlos a altas temperatura o quemar al aire libre residuos de EPS libera clorofluorocarbonos (CFC), el principal enemigo de la capa de ozono.

Figura 1.7 Impacto negativo de la Espuma de poliestireno o EPS.



Fuente: ONU medio ambiente (2018)

Capítulo II.- CICLO DE VIDA E IMPACTO AMBIENTAL DEL EPS

2.1.- Análisis del ciclo de vida del EPS

La industria del EPS utiliza en sus procesos las mejores técnicas disponibles y desarrolla tecnología enfocada a reducir los impactos que su actividad produce en el medioambiente, para dar respuesta a una demanda de productos cada vez más sostenibles.

La herramienta utilizada para cuantificar los impactos ambientales asociados a los productos es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), basada en la Norma ISO 14040. Esta metodología informa sobre las emisiones al medioambiente, el uso de recursos y la generación de residuos durante todo el ciclo de vida del producto (ver Figura 2.1), es decir desde la extracción y procesamiento de materias primas, fabricación, transporte, uso del producto y tratamiento de los residuos al final de su vida útil.

Figura 2.1 Ciclo de vida de EPS.



Fuente: Análisis de vida, requisitos y directrices, (2019).

Como ejemplo se presenta a continuación un estudio bajo la coordinación de La asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ) del ciclo de vida de vasos de uniel (o bien EPS) comparándolo con los vasos de papel plastificados los cuales demuestra el impacto ambiental que estos tienen (DARF México, 2015):

Etapas del ciclo de vida de vasos de EPS

- 1) Obtención de material prima: Producción de las perlas de EPS y el material de empaque así como su transporte a la planta productiva.
- 2) Producción de vasos EPS: Generación y consumo de energía eléctrica y gas natural, emisiones y residuos correspondientes a la fabricación del vaso.
- 3) Distribución: Transporte de los vasos desde las plantas productivas hacia los puntos de venta y hacia el lugar donde el consumidor lo utiliza.
- 4) Uso: No hay impacto ya que el vaso se utiliza una vez.
- 5) Fin de vida: Se considera que los vasos, después de su uso, se llevan al relleno sanitario o al reciclaje.

Figura 2.2 Vaso de unicel vs. Papel.



Etapas del ciclo de vida de vasos de papel plastificado

- 1) Obtención de material prima: Producción del cartón laminado con PE y material de empaque, así como su transporte a la planta productiva.
- 2) Producción de vasos de papel plastificado: Generación y consumo de energía eléctrica, emisiones y residuos correspondientes a la fabricación de vasos.
- 3) Distribución: Transporte de los vasos desde la planta productiva hacia los sitios de venta y hacia el sitio donde el consumidor lo usa.
- 4) Uso: No hay impacto ya que el vaso se utiliza una vez.
- 5) Fin de vida: Se considera que todos los vasos, después de su uso, se llevan al relleno sanitario.

Impactos en etapas de ciclo de vida

- Vasos de EPS: Debido a la factibilidad de reciclar este producto, en la etapa en la que menos cantidad de impactos potenciales genera, es en su fin de vida.
- Vasos de papel plastificado: A diferencia del vaso de unicel, se ha demostrado que el vaso de papel plastificado tiene un impacto potencial en todas sus etapas que conforman el ciclo de vida. Este producto no se recicla, por lo que el impacto en el relleno sanitario es fuerte.

En base a lo comparado anteriormente se llega a las siguientes conclusiones:

- La huella de carbono del vaso de unicel es 4 veces menor que la del vaso de papel plastificado.
- El unicel es un material 100% reciclable, dotado de propiedades que lo hacen más eficiente que otros, como su ligereza, practicidad, resistencia al calor y a los golpes, así como su alto nivel de higiene, al ser un material poco propenso a alojar bacterias y hongos.
- Siendo un material reciclable, la reducción de residuos sólidos en los rellenos sanitarios puede verse disminuida.
- Prohibir el uso de los vasos de unicel, tendría fuertes implicaciones para diversos sectores industriales y también para el consumidor para su uso diario.
- Es de suma importancia promover la cultura del reciclaje para ambos tipos de vasos así como la forma correcta para desechar cada uno. Pero observar que el EPS no por ser un plástico, demuestra que es amigable con el medio ambiente.

Figura 2.3 Vaso de unicel se puede reciclar.



2.1.1.-Menos es más

Para la fabricación y obtención de productos de EPS se requiere tanto de recursos naturales y de la materia prima el cual trae consigo un impacto ambiental, que comparado con otros plásticos que requiere de más recursos para su fabricación, el EPS requiere menos para su obtención, los cuales se presentan continuación:

- ✓ Menos consumo de energía y materias primas. Ahorro de recursos fósiles

El EPS está formado por un 95% de aire por lo que se incorpora al producto una cantidad extremadamente baja de materias primas provenientes de recursos fósiles (un 5% de poliestireno). La mayor parte de la energía, se consume durante el proceso de producción de la materia prima y en menor medida en el proceso de transformación a envase/embalaje (ANAPE, 2019).

- ✓ Sin gases de efecto invernadero. No calentamiento global.

En la fabricación del EPS no se utiliza CFC, por lo que no se producen emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

- ✓ Menos emisiones. Respeto a los ecosistemas.

El EPS revela un bajo potencial de acidificación, esto quiere decir que, al no emitir óxidos de azufre, nitrógeno o fósforo durante su fabricación, no contribuye a la formación de ácidos que, a través de la lluvia (lluvia ácida) o por deposición, afectan a las propiedades del agua y el suelo y a la salud de los ecosistemas.

- ✓ Menos consumo de agua. Cuidando un valioso recurso

En muchas zonas del planeta, el agua es un recurso escaso, esencial para la vida y para la que no existe un sustituto.

El proceso de fabricación del EPS requiere el uso de vapor de agua (a temperaturas comprendidas entre 80-100 °C), para la pre-expansión y el moldeado. La corriente de agua es reutilizada en el proceso y se vierte a la red libre de compuestos químicos.

- ✓ Cero residuos de fabricación. Contribuye al reciclado

El proceso de fabricación del EPS no genera residuos. Los recortes y los productos no-conformes se incorporan como nueva materia prima en el proceso de moldeado

2.2.-Impacto ambiental

2.2.1.-Residuos

De acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), los residuos se definen como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso y que se contienen en recipientes o depósitos; pueden ser susceptibles de ser valorizados o requieren sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la misma Ley (DOF, 2003).

En base a ello el reciclaje forma parte de una solución para disminuir los residuos plásticos, en donde la generación de residuos pueden tener una utilidad diferente antes de su disposición final, ya que pensamos que el reciclar solo es separar dichos residuos en sus respectivas categorías y que los propios recolectores realicen su trabajo, pero finalmente no nos garantiza que al lugar de su disposición final, estos residuos sigan permaneciendo en su forma de reciclar.

Siendo China uno de los principales generadores de residuos por su alta población, pero también uno de los principales recolectores de plásticos, convirtiéndose en la principal industria del reciclaje para la creación de nuevos productos (EFE, 2018). En cambio en México, en el caso de los plásticos, la fabricación de ello es de gran magnitud, tan solo en la producción de envases de PET desechables, México ocupa el cuarto lugar mundial -después de China, Estados Unidos y la Unión Europea con 550 mil millones de unidades al año, de la que al menos mil millones (casi 30 toneladas) se van a los océanos. Donde México solo cuenta con la capacidad de reciclar el 5% de los residuos plásticos que generamos.

El reciclaje de plásticos no es solo una opción si no la de promover iniciativas enfocadas a reducir los niveles de producción, con el fin de avanzar hacia un futuro libre de residuos plásticos que no agrave los problemas ambientales y de salud que implican los plásticos desechables ya que en promedio tardan de 100 a 1000 años en degradarse.

2.2.2.-Disposición final del EPS

Comúnmente los productos de EPS no se le aplica el uso adecuado y son desechado fácilmente, lo que implica un aumento de residuos los cuales terminan en los rellenos sanitarios, mares, ríos o en calles, pero se dice que la eliminación en ellos es la opción menos deseable de entre las alternativas de gestión de los residuos ya que significa un desperdicio de recursos naturales que se pueden recuperar mediante reciclado o valorización.

Pero, si no hay otra alternativa, el EPS se puede depositar en los rellenos sanitarios de forma segura para el medioambiente ya que es un plástico inerte, no tóxico y estable con el paso del tiempo por lo que no contribuye a la emisión de contaminantes a la atmósfera ni de lixiviados a las aguas subterráneas, siempre y cuando no sean sometidos a temperaturas elevadas o quemados, pero lo negativo de esta disposición final, es que es un plástico que dura años en degradarse. Pero lo anterior es cuando son depositados en los rellenos sanitarios, pero en el caso de aquellos que son destinados en los mares o fuentes acuíferas, estos traen consigo problemas a la vida silvestre marina, ya que son ingeridos por las especies marinas

A continuación se presentan algunas recomendaciones sobre el buen manejo en la disposición final de residuos de EPS:

- No desechar los restos o residuos de EPS mediante ignición (quema) no controlada.
- Los restos o desechos de EPS deben mantenerse en zonas bien ventiladas antes de su reutilización, reciclado o vertido.

- El equipo de pulverización y/o compactación para gestionar o reciclar los restos y residuos de EPS debe estar adecuadamente conectado y puesto a tierra.
- Debe haber una ventilación adecuada en las áreas de pulverización o compactación. El polvo debe ser recogido y eliminado.
- Todas las fuentes de ignición deben eliminarse en áreas donde puedan formarse nubes de polvo.
- Actualmente hay industrias o empresas encargadas de la recolección y reciclaje de residuos de EPS.

2.3.-Reciclaje de EPS

Primero para conocer más de los beneficios del reciclaje, debemos de entender el concepto de reciclar, el cual es la acción de transformar materiales recuperados de residuos post-industriales, post-comerciales y post-consumo, nuevamente en materias primas con las propiedades físico-químicas muy similares a las originales a través de distintos procesos mecánicos, físicos y químicos, para con ellos poder fabricar nuevos materiales o productos (ECOCE, 2020).

A diferencia de otros plásticos como el PET que es considerado como uno de los principales plásticos reciclados, el reciclaje de poliestireno expandido es uno de los menos aplicados, por lo que se vuelve un problema por los altos volúmenes de residuos que deja tanto en los vertederos, mares y suelos. Pero es un material plástico considerado como reutilizable al 100%, el cual puede ser utilizado para formar bloques del mismo material y también es reciclable para fabricar materias primas para otra clase de productos. El principal método para reciclar el poliestireno se ha usado desde hace décadas y consiste en despedazar mecánicamente el material para posteriormente mezclarlo con material nuevo y así formar bloques de EPS que pueden contener hasta un 50% de material reciclado (ANAPE, 2019). A continuación en la **Figura 2.4** se muestra una de las cualidades del reciclaje de EPS:

Figura 2.4 Beneficios de reciclar EPS.



Fuente: (ANAPE, 2019).

Una de las ventajas de la recolección de EPS es que puede ser combinado con otras materias primas ya que es un material reversible o bien que no se puede volver a transformar.

Utilizar materias primas secundarias en lugar de materia prima virgen significa:

- Ahorro de energía
- Ahorro de recursos naturales
- Ahorro de espacio en vertederos
- Menos contaminación
- Menos residuos
- Desarrollo de una economía del reciclaje con generación de empleos directos e indirectos formales.

En donde a continuación se presenta los tipos de reciclado utilizados para la transformación de los residuos de EPS:

Reciclado mecánico (reciclado primario): Este tipo de reciclado consiste en la trituración mecánica de la materia reciclada de EPS, donde posteriormente se trata y se reintroduce en un nuevo proceso productivo. Este tipo de reciclado es ampliamente utilizado por su simplicidad y eficiencia, se pueden hacer bloques o gránulos que sirven de materia prima para nuevos productos.

Figura 2.5 Proceso mecánico de compactación



Fuente: pensemos verde (2017)

Reciclado físico (reciclado secundario): En esta segunda opción de reciclado, la espuma limpia y compactada, se somete a procesos de fusión o sinterizado. Esta se introduce como materia prima en el propio proceso o en otros procesos para otras aplicaciones, tales como la fabricación de hormigones o ladrillos ligeros. Las perlas de EPS reciclado pueden adicionarse en una proporción de hasta el 50%. (ANAPE, 2019)

Figura 2.6 Proceso de fusión de residuos de EPS.



Fuente: pensemos verde (2017)

Reciclado químico (reciclado terciario): Consiste en un proceso de despolimerización del poliestireno en su monómero constituyente o de despolimerización parcial para obtener el monómero de estireno y otras sustancias químicas. Después de un nuevo proceso de polimerización se consigue regenerar la materia prima. También se puede realizar el reciclaje químico mediante pirólisis, gasificación o disolución con solventes.

Todo ello para llevar a cabo un buen reciclaje de EPS es necesario que entren libres de residuos: comida, bebida, tierra, cintas adhesivas, chicles, popotes, tapas o material que no sea unicel. No se pretende que sea lavado, sino que ya no tenga exceso de residuos orgánicos. Al no tener residuos: no hay olores, fauna nociva o bichos de ningún tipo. Para el material que viene de la construcción: libre de tierra, cal o cemento, así como de varillas o cualquier metal (Recicla Unicel, 2022).

Figura 2.7 Sugerencia como llevar el material a reciclar.



Fuente: Reciclaunicel.com.mx

2.3.1.- Problemas de reciclaje de EPS

A pesar de que el EPS es considerado un producto 100% reciclable, no es rentable del todo, debido a las características propias del material de las cuales son:

- Luego de su uso, este no está limpio, seco e intacto: los envases o charolas al entrar en contacto con comida estos tendrían que ser lavados dentro de las 24 horas de uso para evitar que la comida en ellos se descomponga o

que se impregne olores y manchas permanentes. Además al ser liviano y frágil es susceptible a dividirse en pedazos.

- Más del 95% del material es aire por lo que es poco el porcentaje de material que se puede recuperar. Su baja densidad hace que la recolección no sea económica.
- Se requiere grandes cantidades para que el proceso sea rentable y al ser un residuo que se encuentra por lo regular con los residuos comunes, esto hace que separarlo y recolectar sea más caro y requiere más tiempo y de espacios para su almacenamiento.

Es por ello que el reciclaje de EPS se considera en aquellos residuos que no han tenido contacto directo con alimentos y es una de las razones por la que en muchas ciudades de Estados Unidos no es considerado como reciclable por lo que se busca optar por restringirlo. La Unión Europea estima que solo se recicla el 25% del EPS usado para empaques, el 30% es incinerado y el resto se dispone en rellenos sanitarios, aumentando los desechos plásticos y los problemas ambientales (Ecolimpio, 2021).

2.3.2.- Reciclaje de EPS en México

En México la industria del poliestireno aporta 2,150 millones de dólares anuales al PIB nacional y genera cerca de 130,000 empleos directos e indirectos en el país. Actualmente los productores de resina de poliestireno ubicados en territorio mexicano tienen una capacidad instalada de 417,000 toneladas por año, y el consumo aparente es de 500,000 toneladas anuales.

En cuanto al EPS el consumo aparente es de 125,000 toneladas al año, que equivale a 29.97% del total de la industria del poliestireno en el país, donde los principales productores son Styropek, Novidesa, BASF, y Resirene, y los transformadores líderes son Convermex, Dart y Reyna (Tecnología del Plástico, 2018).

Hoy en día del total de la producción nacional de EPS el 75% está destinada a la industria de la construcción y embalaje; y el 25% para la industria de alimentos. Y de las 125,000 toneladas de EPS que se consumen cada año en México, actualmente sólo se recupera el 1% para su reutilización en nuevos productos.

Lo que sugiere un gran potencial para el desarrollo de una industria del reciclaje de unigel, como ya se ha visto con los residuos de PET. Es por ello que se ha desarrollado el Plan Nacional de Manejo de Residuos de Poliestireno Expandido (EPS) por medio de Tecnologías Rennueva en conjunto con Marcos & Marcos y Dart de México cuyo objetivo es el beneficio al ambiente, a la industria y sobre el buen manejo de los residuos de unigel. En una primera fase, se proyecta abrir centros de acopio de EPS en Guadalajara, Jalisco y Monterrey, Nuevo León, ya que ahora existen tres centros en Ciudad de México y Estado de México que al mes están recuperando alrededor de 4 toneladas de este material. La segunda fase pretende abarcar todo el país, a lo que hoy en día en el país se han sumado más iniciativas no gubernamentales a la recuperación y acopio de los residuos de unigel.

Al mismo tiempo las empresas impulsoras de este plan de manejo, continuarán desarrollando tecnología para hacer más sustentable el transporte de los residuos para hacerlo más amigable con el ambiente y económicamente viable, pues como se sabe uno de los principales obstáculos para el reciclaje de EPS es su transporte.

Y es que además del valor económico que se genera, también existe un beneficio ecológico debido a que en las condiciones actuales el EPS representa una huella ambiental de 9.7 kilogramos de CO₂ por cada kilogramo, mientras que por cada tonelada reciclada se podrían ahorrar hasta 2,400 litros de gasolina.

De acuerdo a la información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) describe que en México se consumen anualmente de 13 mil millones de piezas entre vasos, platos y placas para la construcción, por lo que equivale un nivel alto de residuos de alrededor de 350 mil toneladas. (INEGI, 2016).

2.4.- Economía Circular

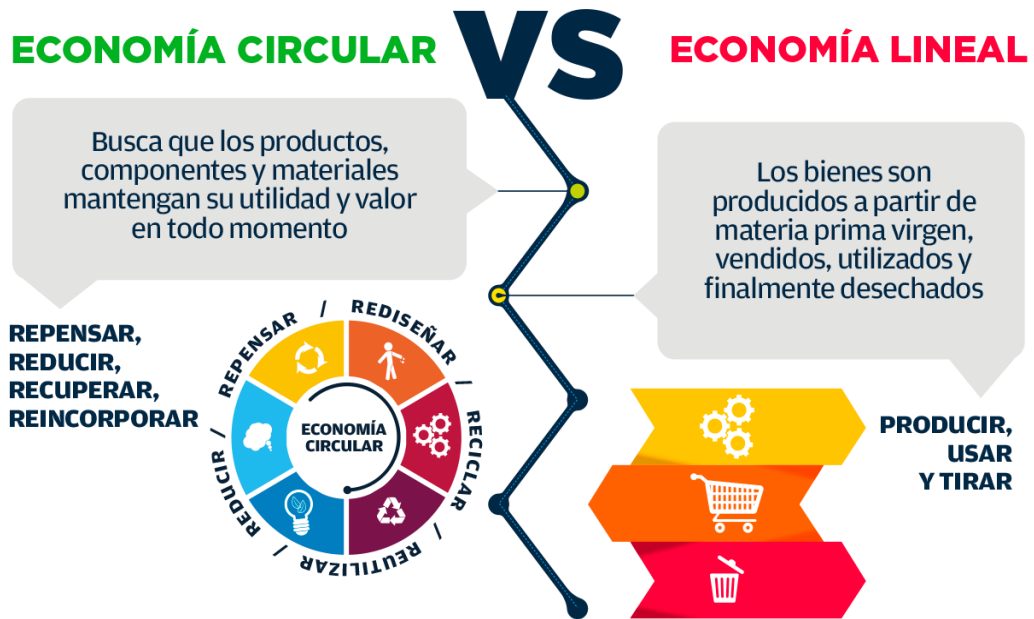
Actualmente el principal modelo económico ha sido producir, consumir y desechar, siendo un modelo lineal donde el consumismo y el mal manejo de los residuos son uno de los principales problemas ambientales. Aunque existen grandes esfuerzos por incorporar cambios en el sistema, como el cuidado de la materia prima para no agotarla o el propio reciclaje, los cuales han sido cambios para mantener el sistema funcionando por más tiempo, pero sin pensar que el problema es que los recursos son finitos.

Es por ello que se busca un cambio en el sistema actual donde el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Fundación Ellen MacArthur, han promovido un cambio en la visión de la economía de los plásticos, fomentando pasar de un modelo económico lineal (producir, consumir y desechar), a un modelo circular. Donde la economía circular se caracteriza por ser restaurativa y regenerativa como fin, y que en todo momento los productos, componentes y materiales mantengan su utilidad y el máximo valor posible (Foundation, Ellen MacArthur, 2019).

Una economía circular tiene como objetivo eliminar los residuos, no solo de los procesos de reciclaje, sino a lo largo de los ciclos de vida de los productos y envases. Va más allá del reciclaje, donde el objetivo no es solo diseñar para una mejor recuperación al final de la vida, sino minimizar el uso de materias primas y energía a través de un sistema de restauración.

En una economía circular, el valor de los productos y materiales se mantiene durante el mayor tiempo posible. El desperdicio se minimiza y los recursos se mantienen dentro de la economía cuando un producto llega al final de su vida útil, para ser utilizado nuevamente para crear más valor.

Figura 2.8 Economía circular vs. Economía lineal.



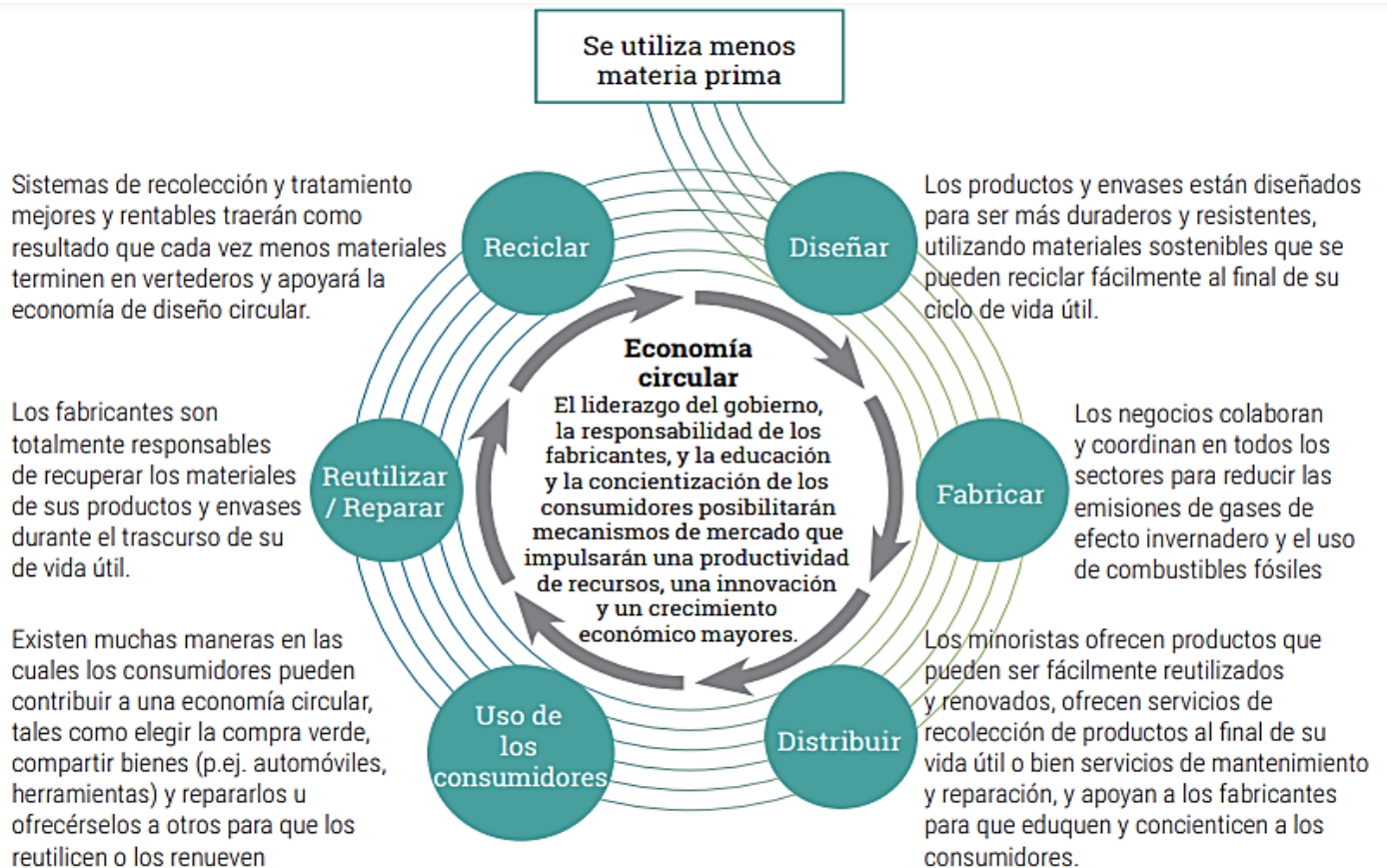
Fuente: (ANIPAC, 2019)

La economía circular se basa en tres principios:

1. Preservar y mejorar el capital natural, a través del control de las reservas finitas y equilibrio en los flujos de recursos renovables.
2. Optimizar el rendimiento de los recursos, a través de la distribución de productos, componentes y materias habilitados todo el tiempo para su máxima utilidad, tanto en ciclos técnicos como biológicos.
3. Promocionar la eficacia de los sistemas, a través de la detección y eliminación del diseño de los factores externos negativos.

Una economía circular busca reconstruir el capital financiero, manufacturado, humano, social o natural, garantizando flujos mejorados de bienes y servicios. El diagrama sistémico que se presenta a continuación en la **Figura 2.9**, presenta el flujo continuado de materiales técnicos y biológicos mediante el “círculo de valor”.

Figura 2.9 Círculo de valor sobre la economía circular.



Fuente: 2017 Strategy for a waste-free Ontario [Estrategia del 2017 para libre de residuos de Ontario]. Building the circular economy.

Este nuevo modelo económico busca impulsar una visión más amplia de la “Regla de las 3Rs” (reducir, reusar y reciclar), ampliándose con nuevas acciones: el rediseño de los productos y el repensar, aplicando tanto la fabricación como al consumo de los productos.

La adopción de una economía circular se puede llevar a cabo mediante los siete pasos siguientes (7Rs) (Foundation, Ellen MacArthur, 2019):

1. Reflexión acerca de la modalidad del consumo de los recursos.
2. Rediseño de los productos de modo que sean desmontables y así lograr mayor duración.
3. Reutilización de los artículos.
4. Reparación de los productos.

5. Remanufactura, recuperación de artículos una vez que lleguen a su fin de vida, para producir otros.
6. Reciclaje.
7. Recuperación, para el aprovechamiento como fuente de energía.

Tomando en cuenta experiencias internacionales para la transición a una economía más sustentable, como es la circular, es necesario la implementación de incentivos tanto para la sociedad, como para la industria, permitiendo la transformación productiva y contar con plazos graduales para efectuar la transición.

México actualmente cuenta con una economía en el reciclaje, cuyos esfuerzos por combatir la contaminación de cuerpos de agua, como la mejora del medio ambiente, han hecho que representantes de los poderes legislativos y ejecutivo del país se sumen al compromiso de revertir dichos impactos, promoviendo programas e iniciativas orientadas a reducir e incluso en los últimos años eliminar el uso de productos plásticos llamados “plásticos de un solo uso”.

Donde el problema de la acumulación de residuos plásticos es responsabilidad tanto de los gobiernos, como de las industrias y de la sociedad, cuyo objetivo debe ser la óptica recuperación de los plásticos, manteniéndolos en la economía nacional por el mayor tiempo posible y mejorar sus usos para generar menos residuos y empatizar más con el medio ambiente. Para ellos es necesario proveer servicios efectivos en el manejo de residuos sólidos y el desarrollo de una buena infraestructura para su tratamiento y valoración que permitan generar buenas soluciones.

2.5.- Residuos Plásticos De Un Solo Uso

En México somos 127 millones de personas, de las cuales generamos 48 kg de plásticos por persona al año, siendo 6 mil toneladas de residuos plásticos al año generados en el país (SEDEMA, 2021). Lo que nos indica un foco rojo en la cantidad de residuos plásticos que generamos en el país; y ahora si ampliamos más la imagen, veremos que la cantidad de desechos en el mundo es enorme, ya que de

acuerdo con La Organización de las Naciones Unidas, alrededor del mundo tiramos al mar más de 8 mil millones de kilos cada año de basura plástica, lo que equivale tirar al mar un camión de basura lleno de plástico cada minuto (Zapata, 2018).

Los residuos plásticos de un solo uso o también llamados a menudo como plásticos desechables son aquellos que están destinados a ser eliminados inmediatamente después de unos minutos de su uso; estos se suelen utilizar como envases plásticos. Estos incluyen otros artículos tales como bolsas de supermercado, envases de alimentos, botellas, pajillas, recipientes, vasos y cubiertos. Es por ello que los gobiernos han empezado a tomar medidas para combatir y minimizarlos, por medio de acciones de prohibiciones o de estrictas medidas tanto desde la producción por parte de la industria, como del consumidor por parte de la sociedad en general.

Donde los producto de EPS como los vasos, platos, charolas, son ejemplos de plásticos de un solo uso, donde su consumo es popular para la compra, almacenamiento y uso de alimentos, los cuales solo son usados por un periodo de tiempo corto y luego son desechados, debido a que es considerado un plástico complicado de reciclar debido a que en su mayoría son ensuciados con residuos de comida que son difíciles de remover; es por ello que la industria del reciclaje no mira a menudo este plástico debido a que para su almacenamiento se requiere de espacios grandes y de maquinaria al ser un plástico voluminoso por su composición que más del 95% es aire, así también para la limpieza se requiere de infraestructura por lo que su recuperación requiere de inversión.

Por lo que hoy en día el reciclaje de este material no es muy popular comparado con otros productos de un solo uso, ya que al no haber muchas industrias en el mundo que recupere este material, la cultura del reciclaje de este en la sociedad no es muy conocido y solo es desechado con facilidad, agravando la acumulación de desechos en vertederos, en ríos que desbordan a los mares y de la vida silvestre, que a la larga no nos damos cuentas de los daños que pueden causar, ya que con el tiempo el EPS se convierte solo en microplásticos que son difíciles de detectar y están en todas partes, que son ingeridos por la vida silvestre causándole

problemas de órganos o bloqueos intestinales fatales que los lleva en los peores casos a la muerte o que en algunos casos estos animales terminan en nuestro cuerpo y sin darnos cuenta también estamos ingiriendo de estos microplásticos.

2.6.- Medidas En México Y En El Mundo Para Prevenir Los Plásticos De Un Solo Uso

En México se han empezado a tomar medidas por parte de los legisladores y de las instituciones de gobierno sobre estrictas medidas para prevenir la generación de residuos plásticos de un solo uso. Tal es el caso de leyes que prohíben el consumo de estos productos en ciertos estados de la república, tal es el caso de la Ciudad de México, que por medio de La Secretaría del Medio Ambiente (Sedema) y la Dirección General de Evaluación de Impacto y Regulación Ambiental (DGEIRA) de la capital, implementó a partir del 1 de enero de 2021 prohibida la comercialización, distribución y entrega de tenedores, cuchillos, cucharas, palitos mezcladores, platos, popotes o pajillas, bastoncillos para hisopos de algodón, globos y varillas para globos, vasos y sus tapas, charolas para transportar alimentos, aplicadores de tampones, fabricados total o parcialmente de plásticos, diseñados para su desecho después de un solo uso, excepto los que sean compostables, cuyo objetivo de esta prohibición es lograr un consumo responsable en donde los capitalinos sean más consciente y dejen de usar plásticos de un solo uso para no generar contaminación a la propia ciudad y al planeta (Sedema, 2021) .

Pero no solo depende de nosotros el aprender a reciclar o el consumo responsable, sino para lograr que la economía sea circular, se debe de empezar con regulaciones hacia las empresas que producen los materiales plásticos, donde se piense no solo en la producción sino en cómo se puede contribuir para su recuperación y evitar ser parte solo de un desecho más en vertederos.

Así también el Congreso de Oaxaca implementaron la Ley para la Prevención y Manejo Integral de Residuos Sólidos, que prohíbe cualquier venta, distribución y utilización de plásticos de un solo uso o desechables de las cuales son las bolsas

de plástico de PEBD, Popotes de polipropileno, Unicel (EPS) y botellas de PET, la cual entró en vigor el 24 de Octubre del 2020 (SEMAEDES, 2020). Donde expertos en la defensa del medio ambiente, piden a los líderes que hacen valer las leyes que regulan el país, tomen como ejemplo al estado de Oaxaca para eliminar la contaminación plástica y avanzar a un futuro que no agrave lo ambiental, promoviendo iniciativas enfocadas a reducir los niveles de producción y avanzar a una economía circular, ya que el reciclaje no es solo una solución.

Anteriormente estados como Veracruz, Querétaro, Baja California Sur, Jalisco, Sonora, Durango, Nuevo León, Puebla se han sumado a la prohibición de los plásticos de un solo uso.

En general se ha visto en el país cambios en donde se han empezado tomar regulaciones en el uso de plásticos de un solo uso principalmente en restaurantes, establecimientos de comidas para llevar y en supermercados, en donde su comercialización y uso se han ido minorando o en algunos casos se cobran cuotas si requieren obtener dicho plástico, que es ahí donde nosotros debemos de concientizar en eliminar su uso y consumo.

En América Central y del Sur, países tales como Haití y Costa Rica regulan el uso de productos de plástico espumado. También se suma Chile, Colombia que han aprobado una ley que prohíbe el uso de plásticos de un solo uso y desechables en locales de comida y delivery; países del Caribe como Jamaica, Belice, Trinidad y Tobago, Bahamas, Barbados, Dominica y que a partir del 1° de Enero del 2020 prohíben los plásticos de un solo uso y los productos de espuma de poliestireno como medida para evitar la degradación ambiental.

En América del Norte, la Ciudad de Nueva York se han tomado acciones en contra de productos de espuma de poliestireno de un solo uso, donde se restableció en el 2017 la prohibición en recipientes de espuma de poliestireno de un solo uso. Recientemente en este año 2021 el Ayuntamiento de Laguna Beach aprobó una ley que reduce la cantidad de contaminación plástica generada por restaurantes, bares

y otros vendedores de comida, donde los restaurantes y bares tienen prohibido el uso de pajitas de plástico para bebidas, agitadores, utensilios, alimentos de plástico desechables y bolsas de plástico; y las tiendas tienen prohibido vender alimentos y bebidas de espuma de poliestireno. Además, se prohíbe el uso de alimentos desechables de plástico o espuma de poliestireno en las playas, parques y senderos de la ciudad.

Al igual se han sumado las legislaturas estatales de Virginia, Washington y Colorado prohibieron los artículos para alimentos de espuma de poliestireno en todo el estado; el Ayuntamiento de Los Ángeles limitó el uso de utensilios de plástico; y el Ayuntamiento de Boca Ratón, Florida, prohibió los artículos de comida de espuma de poliestireno en las propiedades de la ciudad; lo que indica que son más las ciudades y estados que se suman a la causa en combatir el problema de la contaminación de los plásticos.

En Europea, actualmente la Comisión Europea cuenta con una «Estrategia Europea para Plásticos en una Economía Circular» (2018- 2030), para reducir la generación innecesaria de residuos de plástico de un solo uso y para eliminar los envoltorios excesivos, donde a partir de la 3 de julio de este año, los artículos tales como vasos de poliestireno son prohibidos en la Unión Europea en el marco de la directiva de un solo uso de plásticos y se estableció como objetivo reducir el uso de plástico haciendo que todos los envases del mercado comunitario sean reciclables en el año 2030. Sin embargo, se necesita más para abordar la crisis de la contaminación marina (Campmany, 2021).

Figura 2.10 El mundo de plástico.



Fuente: Recuperado de la web (Directo al paladar, 2021).

Todas estas alternativas que los países empiezan a tomar que a través del trabajo conjunto con las industrias y los gobiernos que apoyan el desarrollo y promoción de alternativas sostenibles para poder eliminar gradualmente los plásticos de un solo uso, por medio de la introducción de incentivos económicos, apoyando los proyectos que mejoran o reciclan artículos de un solo uso y estimulando la creación de microempresas, los gobiernos forman parte importante en la contribución del uso de alternativas ecológicas de plásticos de un solo uso.

Capítulo III.- ALTERNATIVAS DE RECICLAJE DEL EPS EN MÉXICO

El reciclaje es una de las mejores alternativas utilizadas en la actualidad para la reducción del volumen de los residuos sólidos. Al tratarse de un proceso que consiste básicamente en volver a utilizar materiales que fueron desechados y que aún son aptos para elaborar otros productos o volver a fabricar los mismos.

La recuperación de residuos y el reciclaje ofrecen un gran potencial para mejorar el manejo de recursos y disminuir la disposición de residuos; también se prolonga la vida útil de los rellenos sanitarios y aminora la explotación de la materia prima virgen.

En el caso del EPS que es un material que técnicamente se puede reciclar y la legislación lo exige, es el mercado que aún no permite que la aplicación del reciclaje de EPS sea de alto impacto en el país, ya que no se cuenta con suficiente infraestructura y conocimiento del mismo. A pesar que desde el 2013 se modificó la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) indicando que debería tener un plan de manejo, fue hasta el 2018 que con base a la NOM 161 se presentó el Plan Nacional de Manejo de Residuos de EPS en México cuyo principal objetivo es mostrar el valor del EPS y fortalecer una cadena que brinde beneficios económicos, sociales y ambientales, la cual fue posible por medio de empresas, organizaciones y del Gobierno Federal.

Por lo que actualmente México se ha sumado a los esfuerzos por reciclar el unigel con ayuda de empresas, organizaciones y centros de acopios dedicados a la recolección y reciclaje de EPS para transformarlos en otros productos tales como marcos para fotografías y reglas escolares los cuales son productos que actualmente se producen en el país.

3.1- Inicios de Reciclaje de EPS en México

El unigel llegó a México en 1951, pero la popularidad de los productos de unigel se dio hasta los años 70 con la llegada de BASF a México (BASF, 2022). La producción de estos desechables se adoptó eficientemente a las regulaciones mundiales para

evitar dañar más la capa de ozono, pero actualmente se enfrenta al impacto ambiental por la forma en que se disponen estos objetos cuando se vuelven residuos, al ser un material que no se descompone en un tiempo preciso, no se considera un material biodegradable, pero si es un material 100% reciclado. De acuerdo con datos de la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ), el consumo nacional del unigel en México es de 125 mil toneladas anuales.

No es hasta hace un par de años cuando el Polietilenotereftalato (PET) y el Polietileno de alta densidad (HDPE) fueron los primeros plásticos monetizados en el país por lo que se crea un mercado para el reciclaje de dichos materiales, sin embargo los demás polímeros siguen sin valorarse comercialmente en el mercado nacional, al presentar un bajo peso, obliga al recolector a reunir una mayor cantidad de volumen en relación al peso, lo que afecta directamente al costo de transporte del material al centro de reciclaje. Por otro lado, un factor que hace que la industria del reciclaje de plástico no sea constante en nuestro país son las fluctuaciones en el precio del petróleo, las cuales no permiten monetizar los residuos plásticos a un valor constante durante un periodo relativamente largo de tiempo.

En el caso del unigel, fue el 17 de Junio de 2010 cuando se abrió el primer centro de acopio de unigel ubicada en el Estado de México por parte de Dart de México, empresa dedicada a la fabricación de desechables de unigel. Posteriormente en Diciembre de 2016 por parte de Rennueva, se abre el primer centro de acopio en la Ciudad de México, microempresa nacida en la Universidad Nacional Autónoma de México, dedicada al desarrollo de tecnologías enfocadas al reciclaje del EPS, donde promueven el programa de las 3 R's (Reducir, Reutilizar y Reciclar), con fundamento en la NOM-161 SEMARNAT 2011 y con el desarrollo de un plan de manejo para reciclaje de

Figura 3.1 Centro de acopio Dart de México.



unicel de manera local y federal, quienes desarrollaron su propia maquinaria que permite compactar el unicel reciclado en bloques, que posteriormente son enviados a la industria para transformarlo en pellet y después en nuevos productos.

Actualmente se cuenta con once centros de acopios permanentes a lo largo del país, identificados por sus buenas prácticas, en donde son aceptados todo tipo de unicel post-consumo y de embalaje. Dichos centros están ubicados en:

- Pachuca, Hidalgo
- Tecnologías Rennueva, Ciudad de México.
- Dart de México, en Atlacomulco, Estado de México.
- Marcos & Marcos, Tultepec, Estado de México
- Dos centros más de acopio en la Ciudad de México.
- Monterrey
- Guadalajara
- Tres centros de acopio en Querétaro

Aunque el tema de reciclaje hasta hace unos años era un tema tabú en nuestro país, en pocos años se ha convertido en el tema de novedad 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. Desgraciadamente, estas prácticas aún son incipientes a tal grado que en el país se siguen importando desechos reciclados a otros países.

3.2.- Leyes que rigen el manejo de residuos plásticos

La industria del plástico también está apegada a leyes que permitan un buen manejo de los residuos tanto desde su proceso inicial como el final. Así como el unicel y otros plásticos la principal ley en el país a seguir es la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, desde los años 2013 y 2014, establece en el:

Artículo 7.- *Son facultad de la Federación: VI. Expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan, entre otros, los criterios de eficiencia ambiental y tecnológica que deben cumplir los materiales con los que se elaborarán productos, envases, empaques y embalajes de plásticos y poliestireno expandido que al desecharse se convierten en residuos. Dichas normas deberán considerar los principios de reducción, reciclaje y reutilización en el manejo de los mismos. (Modificación a la Ley DOF 21-05-2013).*

Esta modificación del 2013 debió de involucrar a todos los productores de desechables, Gobierno e interesados, en el compromiso de buscar un manejo correcto de los mismos al terminar su vida útil. Además en el

Artículo 28.- *Estarán obligados a 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... (Fracción reformada DOF 19-03-2014, 04-06-2014).*

Ahora en 2019, a cinco años de la modificación de la LGPGIR, en México se cuenta con un plan de manejo para reciclaje de unicelel registrado por la Semarnat en 2018, cuyo plan busca formalizar y fomentar el negocio del reciclaje del unicelel. Donde algunos fabricantes nacionales no apoyan de forma conjunta este plan de manejo, pero empresas involucradas con dicho plan como DART de México, Marcos & Marcos, Rennueva, Recicla Unicelel, que son empresas que están sumando esfuerzos hoy en día para cambiar la percepción respecto al manejo del unicelel como residuo reciclable al impulsar la apertura de más centros de acopio en el país.

El plan de manejo incluye la apertura de centros de acopio en cada una de las nueve regiones del país; Bajío, Californias, Centro, Golfo, occidente, Península, Pacífico y Sur, meta que esperan cumplir a corto plazo.

3.3.- Técnicas Actuales de Reciclaje de EPS en México

Actualmente el manejo de residuos de EPS en México ha ido de la mano por parte de organizaciones y empresas apegadas al cumplimiento del Plan Nacional de Manejo del Unicel mencionado anteriormente, que por medio de los centros de acopio invitan a la sociedad a colaborar y dar a entender que se puede reciclar, así también se han implementado técnicas por parte de universidades preocupadas por combatir los problemas ambientales por los desechos de unicel. A continuación se presentan las técnicas existentes.

3.3.1.- Densificado

El Densificado es una de las principales técnicas aplicadas en el sector del reciclaje del EPS en México, al ser una forma más sencilla y eficaz de tratar los residuos, ya que consiste en reducir el volumen del material, reduciendo espacios, mejor manejo y tiempos de transformación. Como consecuencia el aplicar esta técnica en el sector industrial trae como beneficio tanto el incremento del rendimiento de una empresa como en el sector ambiental, ya que se apuesta por una economía circular, haciendo que los desechos vuelvan a integrarse a una cadena de valor mediante la transformación de nuevos productos.

Técnica que consiste en densificar el material plástico a través de calor a partir de resistencias, convirtiéndolo en un proceso de **termodensificado**, al extraer el aire por calor. Dicho proceso inicia triturar de forma mecánica, para ser convertida en una pasta, que sale en forma de tira por el husillo, formando un material plástico rígido, con las que se producen bloques aproximados de 20 kg. Estos bloques posteriormente son triturados cuya molienda pasa después al proceso de limpieza y Peletizado. Esta técnica ha sido aplicada en algunos estados de la República dedicados a transformar el unicel reciclado en marcos para fotografía, reglas y carcasas para CD's.

Dichos pasos se representan a continuación:

1. Densificado

El material plástico pasa a una prensa o a una máquina de termodensificado, donde se tritura mecánicamente y que a través de calor se extrae el aire del Unicel (95% de este material es aire y solo el 5% es plástico). Este proceso hace más eficiente el traslado y manejo de los residuos de un lugar a otro. Con ello se producen bloques de 20 a 50 kg, el equivalente a unos 7,500 a 18,750 vasos.

Figura 3.2 Proceso de densificado.



Fuente: (Plastics Technology México, 2016).

2. Peletizado

Los bloques pasan por un proceso de molienda donde se obtiene un granulado que se funde y se convierte en pellet. La máquina peletizadora contiene una malla que limpia el material, eliminando cualquier impureza, residuo o suciedad.

Figura 3.3 Proceso de peletización y limpieza del unicel reciclado.



Fuente: (Plastics Technology México, 2016).

3. Mezcla

En el caso para la elaboración de molduras para fotografía, el pellet de EPS se mezcla con pellet de poliestireno (PS) de alto impacto y otros ingredientes, ya que al ser muy cristalino, necesita mezclarse con un plástico de la misma familia que le proporcione flexibilidad. Este material proviene de las de carcasas de televisión y videocaseteras.

Figura 3.4 Mezcla de pellets de EPS con PS reciclado



Fuente: (Plastics Technology México, 2016).

4. Extrusión

El polímero fundido es moldeado a través de un proceso de extrusión donde adquiere la forma de la moldura.

Ilustración 3.5 Proceso de extrusión de molduras para marcos.



Fuente: (Ambiente Plástico, 2015).

5. Decorado y armado

En el caso de las molduras para marcos de fotografía, pasa a una estación para ser pintada, grabada y decorada. Las tiras de moldura obtenidas en este proceso se cortan y se arman en forma de marcos, para ser llevados posteriormente al punto de venta.

Figura 3.6 Ensamble de marcos reciclados con uniceL.



Fuente: (Plastics Technology México, 2016)

3.3.2.- Compactación

Esta técnica tiene diferentes formas de compactar el material reciclado, de forma **hidráulica, por tornillo y por vapor**, cuyos resultados en la forma final del producto varía dependiendo el mecanismo de la máquina compactadora, los cuales se presentan a continuación:

Por Tornillo: mecanismo que consiste primero en introducir los residuos de uniceL en la tolva, los cuales también pueden ser alimentados por bandas transportadoras, dependiendo la máquina; posteriormente se realiza el mecanismo de trituración mecánica de los desechos de uniceL, que por medio del tornillo rotatorio y las garras hidráulicas, compacta el material, teniendo como resultado bloques alargados de material reciclado.

Figura 3.7 Compactación por tornillo.



Fuente: GreenMax.

Hidráulico: El funcionamiento es muy simple, se introducen los residuos en el compartimento central y una vez lleno se cierra. Donde el compactado es por medio de prensas hidráulicas las cuales ejercen una presión que puede ir desde las 2 toneladas de presión hasta las 50 toneladas. Una vez ha terminado, se abre la puerta principal y el cubo compactado se retira, ya sea a mano o con una carretilla elevadora. Los residuos compactados pueden pesar de 40 hasta 600 Kg. La reducción puede llegar hasta el 90%.

Figura 3.8 Compactadora hidráulica vertical.



Fuente: manufactura.mx

Compactación por vapor: esta es una técnica es utilizada para la generación de nuevos bloques y piezas de EPS para la construcción; así también los residuos triturados pueden combinarse con otros materiales de construcción para dar lugar a hormigones ligeros, revocos aislantes, ladrillos porosos, etc., mejorando el comportamiento térmico de estos elementos el caso de bloques para la construcción.

Dicha técnica consiste en triturar de manera mecánica el material, para posteriormente mezclarlo con material recién pre expandido virgen, para después pasar al proceso de moldeado por **compactación por vapor** y así

formar bloques de EPS que pueden contener de un 35%-40% de material reciclado, para conservar su cohesión, su resistencia a la flexibilidad y sus propiedades aislantes. Ya que es excelente aislante térmico y acústico, minimiza el consumo energético y mantiene la temperatura en inmuebles (edificios y casa habitación). Es un material resistente para la elaboración de muros y soportes, pues no enmohece; también se ha probado su efectividad para la elaboración de bloques para relleno de terrenos, ya que no se degrada o altera por la humedad.

Tal es el caso de NaviEmpaques empresa 100% mexicana ubicada en el Estado de México, fabricantes de productos de EPS, quienes para aprovechar la cadena de valor del unigel con una economía circular, en sus procesos de fabricación, se recicla el 100% de los desperdicios y mermas, triturando por molienda dichos desperdicios que posteriormente son mezclados con material virgen que posteriormente es integrado a su proceso de compactación por vapor, para la fabricación de productos para la construcción; además en conjunto con los clientes y proveedores colaboran para que todo el producto que por sus condiciones

Figura 3.9 Unigel en la construcción.



Fuente: (NaviEmpaques, 2020)

ya no son aptos para la venta, son recopilados y regresados para su reciclaje y utilización en la fabricación de nuevos productos (NaviEmpaques, 2020).

Figura 3.10 Moldeado por vapor de bloques de construcción.



Fuente: (NaviEmpaques 2020)

3.3.3.- Proceso Térmico y solventes

Esta técnica se basa en utilizar un sistema de calentamiento térmico por resistencias, en donde el uncel reciclado y recolectado inicialmente no necesita pasar por un proceso de compactación, corte o triturado comparado con el proceso de densificado y peletizado, ya que una vez recolectado se disuelve por temperatura, hasta lograr obtener una pasta líquida que se convierte en la materia prima que pasa directamente a los moldes para convertir otros productos como tejas, lamidas caladas, macetas y cuadros para fotografía.

Figura 3.11 Proceso térmico de disolución del unicel



Tiene como ventajas ser un proceso económico, tener menores tiempos de transformación ya que una vez disuelto el unicel se pasa a transformar las piezas. Se requiere poco espacio de operación y los moldes pueden ser elaborados de manera artesanal.

Esta técnica se considera por ser de forma artesanal, ya que no pasa por un proceso industrial, la manipulación y transformación es manual. Es apto para transformar todo tipo de unicel (de embalaje, postconsumo, de construcción). Como desventaja comparada con una industrial, son los tiempos de secado de la pieza final. Requiere de treinta minutos a una hora de secado y su secado es por sí solo, sin un sistema de secado por agua o viento.

Este proceso térmico también puede ser utilizado para transformar piezas como macetas u obtener fibras por medio de una **centrífuga** que realiza un sistema por roto moldeo. Consiste en disolver el material plástico por el sistema térmico, para después colocar el material fundido al molde de la centrífuga; cuyo sistema de rotación pega a las paredes el material plástico hasta darle la forma deseada en el caso de una maceta.

Figura 3.12 Centrifuga para realizar macetas por roto moldeo.



Al igual sirve para obtener **fibra ecológica**, se requiere igual de un sistema de centrifuga, en el que su sistema rotatorio cuenta con una resistencia que permite que el material este caliente y fundido en todo momento mientras se realiza la rotación, que por medio de un cilindro que contiene pequeños agujeros milimétricos, expulsa el material en forma de fibra. La fibra ecológica puede servir para relleno de construcción que puede ser mezclado con cemento para lograr mayor resistencia y ahorro de material.

Figura 3.13 Obtención de fibra ecológica a partir de materia plástica.



Este sistema en México se conoce poco y ha sido impulsado de manera poco industrial y más de forma artesanal, cuya maquinaria está pensada en realizar un proceso sencillo y económico.

También hoy en día se ha utilizado el uncel reciclado para la fabricación de barniz, pinturas o impermeabilizantes la cual puede ser aplicada en paredes o techos. Consiste que por medio del proceso **térmico**, se disuelve el uncel, convirtiéndolo en una pasta, la cual es mezclada con resinas líquidas para obtener pintura, la tiene una buena adherencia. También puede ser mezclada con vinil y acrílico.

Dicho producto tiene un tiempo de vida de aproximadamente de 5 años dependiendo las condiciones a que estén expuestos, cuyo producto es resistente ya que por su acabado plastificante, evita el paso de agua y prevenir humedad.

Esta técnica ha sido replicada por una empresa 100% mexicana en fabricar impermeabilizantes y pinturas a base de uncel reciclado llamada a3p, quienes acopian, transforman y procesan los desechos de llantas y uncel para generar productos ecológicos.

3.14 Pinturas ecológicas con uncel reciclado.



Fuente: www.ap3.mx

Figura 3.15 Aplicación del impermeabilizante de Unicel reciclado.



Fuente: Elaboración propia (2021).

3.3.4.- Gusanos que comen Unicel

Se ha descubierto que los gusanos *Tenebrio Molitor* son capaces de comer plástico ya que tienen una bacteria en el tracto digestivo que es capaz de descomponer el unicel bio-molecularmente en cuestión de minutos. Cuya técnica posteriormente se utiliza para elaborar harina altamente proteínica para la ingesta animal. Primero son alimentados con unicel y una vez que crecen y se convierten en escarabajos, son trituradas para la elaboración de harina que se comercializa a empresas que fabrican alimentos para animales, como reptiles, gallinas, peces.

Dicha técnica tiene como resultado la contribución ambiental por la degradación acelerada, por pasar de más de 500 años que es el tiempo aproximado natural de degradación a un tiempo aproximadamente de 45 días. Además de ser una alternativa para la obtención de proteínas, que ocupa pocos recursos y poco espacio de aplicación.

Esta técnica ha sido aplicada por parte de estudiantes universitarios de los estados de Morelia y de Querétaro, los cuales les han llevado años de estudio, en unos caso fueron inspirados por estudios realizados en China y Estados Unidos los cuales demostraron que el gusano *Tenebrio* es capaz de comer plástico. Actualmente ha sido aplicado localmente en dichas ciudades y a servicios proveedores que crear alimentos para animales, así como de uso personal; pero se busca en un futuro expandir la cadena de producción en el resto del país, dando a

conocer que con dicha técnica es posible combatir los residuos de unicel de una forma más rápida y de bajo coste.

Figura 3.16 Gusano Tenebrio comiendo unicel.

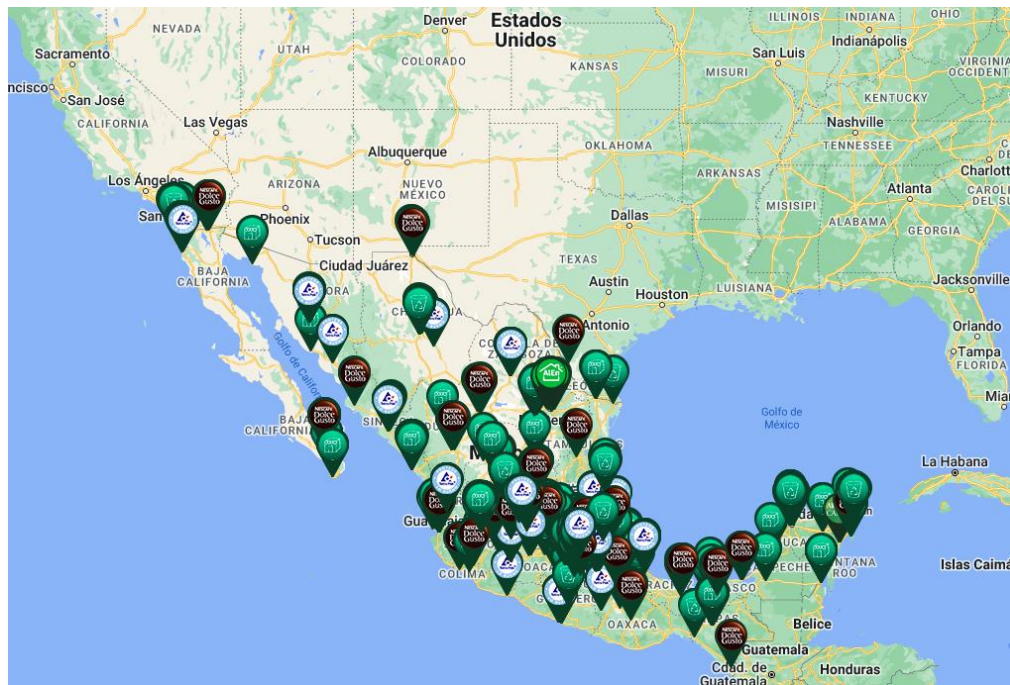


Fuente: conecta.tec

3.4.- Importancia del Acopio

El acopio es el primer paso para lograr un buen reciclaje, ya que se realiza la valoración de todos los desechos para después canalizarlos al reciclaje. Con el objetivo de mejorar el manejo y la disposición de los materiales de desecho y contribuir al cuidado del ecosistema. En el país existen centros de acopio reconocidos por sus buenas prácticas para recolectar y almacenar los desechos reciclados. En el caso del acopio de unicel, existen alrededor de 53 centros registrados en 15 Estados de la República Mexicana (Ecolana, 2022) .

Figura 3.17 Centros de acopio en México.



Fuente: ecolana.com.mx

Marcos & Marcos, Dart de México y Rennueva son unos de los principales centros de acopio de uncel reconocidos en el país, dedicados en recoger el material separado por sus clientes en sus domicilios, o bien lo reciben en sus plantas de reciclaje localizadas en Atlacomulco y Tultepec, Estado de México. Reciben el Unicel post consumo (vasos, platos, desechables y residuos de construcción y embalajes) de particulares, empresas vecinas, locatarios, instituciones educativas y de gobierno.

Figura 3.18 Proceso general de reciclaje.



Fuente: Elaboración propia

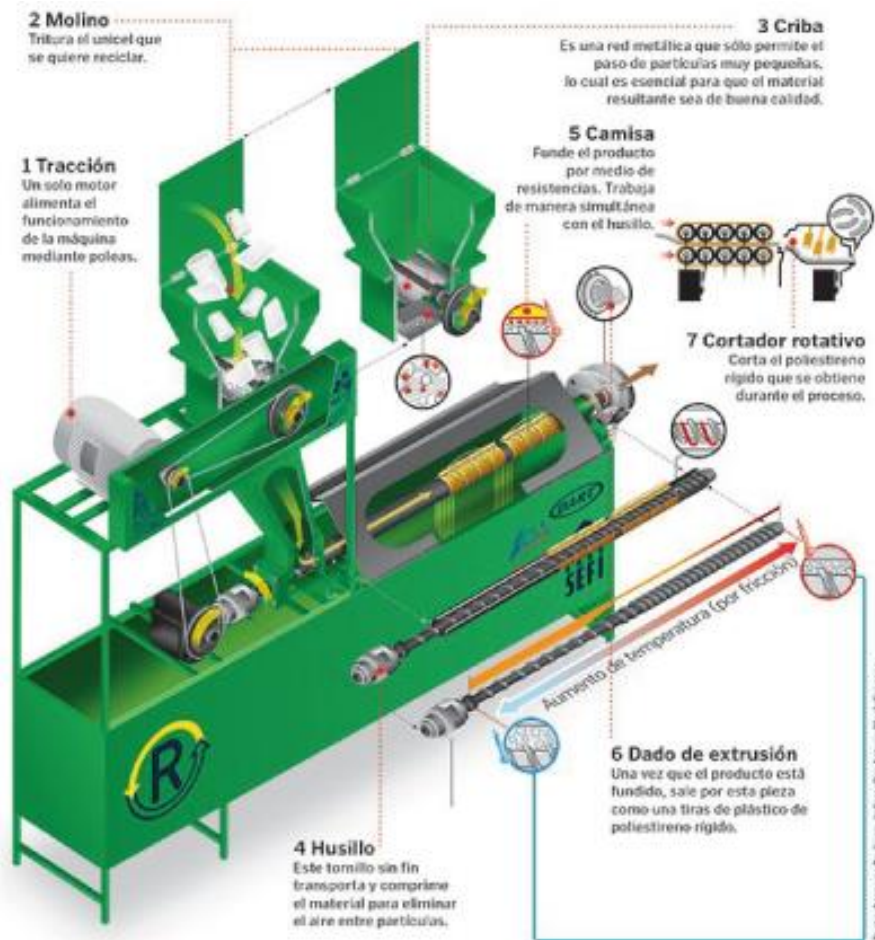
Por ejemplo con 1,640 kg de unigel reciclado equivalente a 410,000 charolas, platos y vasos se logra la fabricación de 320 marcos y 1,000 reglas escolares. De las cuales las reglas escolares están elaboradas al equivalente del peso de 3.5 vasos térmicos.

Una de las propuestas y requisitos que se requiere para reciclar y llevar a los centros de acopio especializados en México, es lo siguiente:

1. Clasificar todo el producto de unigel.
2. Retirar residuos de comida o bebida de los recipientes.
3. Separar popotes, tapas, servilletas, cintas adhesivas o cualquier otro desecho.
4. Depositar el producto en los depósitos correspondientes o llevarlos a los centros de acopio.

Como se mencionó anteriormente el centro de acopio Rennueva realiza el proceso de compactación/densificado con su propia maquinaria REPS-01, en donde su proceso por tornillo es eliminar el aire por fusión. Consiste primero en la molienda de los residuos de unigel que pasan por la tolva para llegar al husillo, donde se encuentra la camisa, que por medio de resistencias hace que el producto se funda, posteriormente el tornillo rotatorio transporta y comprime el producto fundido hacia el dado de extrusión, que expulsa el producto como una tira de plástico fundido de poliestireno rígido, que en el husillo de salida por medio de un cortador rotatorio es cortado en tiras (**ver Figura 3.19**). Ya sea que se quede el producto en tiras o se forman bloques los cuales son transportados a terceros para convertirlos en pellets. Rennueva trabaja en conjunto con Dart y Marcos & Marcos y son los pioneros en realizar el Plan Nacional de Manejo del unigel.

Figura 3.19 Maquina densificadora Rennueva.



Fuente: Rennueva 2016

Así como se ha citado de las alternativas que los gobiernos y la industria han empezado a implementar para combatir y reducir los desechos plásticos y aplicar una economía circular que permita maximizar la vida útil de los productos, también existen iniciativas por parte de ciudadanos preocupados por reciclar el unicel, quienes nos dicen que podemos empezar a educarnos desde casa.

Gracias a la labor de las industrias y organizaciones mencionadas anteriormente, nos damos cuenta cómo poco a poco se está pensando en cómo contribuir con el medio ambiente, mediante la recuperación y reciclaje del EPS o en general de los plásticos, que hoy en día son el principal material de consumo y por ende el principal a combatir.

Capítulo IV.- COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DEL RECICLAJE DE EPS EXISTENTES EN EL RESTO DEL MUNDO Y RECOMENDACIONES.

El reciclaje de EPS tiene sus inicios en China, con la misión de reducir los impactos ambientales generados por este material plástico. Quienes hoy en día Asia seguido de Europa y Estados Unidos, son los principales recolectores e impulsores del reciclaje de los desechos plásticos. Es por ello que en 1992, las organizaciones de EPS de Asia (AMEPS), Europa (EUMEPS) y América del Norte (EPS-IA) formaron la Alianza Internacional de EPS (INEPSA) para mejorar el reciclaje global de EPS y la administración ambiental. Donde treinta y un países de todo el mundo han firmado el histórico Acuerdo Internacional de Reciclaje, alegando su compromiso con el reciclaje global de EPS (epsrecycling, s.f.).

Figura 4.1 Países asociados al acuerdo Internacional de reciclaje de EPS.



Fuente: (epsrecycling, s.f.)

El EPS reciclado se utiliza tanto en procesos de circuito cerrado como de circuito abierto para realizar una variedad de aplicaciones, desde contenedores duraderos de EPS de material reciclado hasta nuevos productos de construcción innovadores. En 2010, más del 52% de todo el EPS recolectado para el reciclaje se utilizó para fabricar envases con contenido reciclado, en los países participantes en la organización anteriormente mencionada.

Para algunas empresas es favorable introducir un esquema de reciclaje individual, por lo que muchos de los principales fabricantes de electrónica y automóviles y minoristas eléctricos tienen esquemas exitosos y económicamente viables. Basándose en el siguiente modelo:

Compactación: para reciclar los envases de EPS usados, deben separarse de otros materiales. El EPS es fácilmente reconocible y se puede recoger en puntos de venta, centros de distribución, fábricas o almacenes. Luego, el material recolectado se compacta por medio de maquinaria especializada hasta una cuadragésima parte de su tamaño original para un transporte fácil y rentable.

Recolección: el reciclador envía un camión para recoger el material una vez que haya una carga completa lista para el camión. Esto se lleva de vuelta a la fábrica del reciclador.

Granulación: el reciclador alimenta el EPS en un granulador que corta el material en trozos más pequeños.

Mezcla: el material se pasa a una licuadora para mezclarlo a fondo con gránulos similares.

Extrusión: el material se introduce en la extrusora, donde se funde. Se puede agregar color y el material extruido luego se moldea en un nuevo producto de valor agregado.

La industria de EPS en Estados Unidos ha desarrollado una infraestructura de recolección a nivel nacional de más de 200 sitios de recolección para apoyar los esfuerzos de reciclaje. El Informe de reciclaje de EPS de 2019 muestra que se reciclaron más de 61,7 millones de kilogramos (136 millones de libras) de EPS en 2018, incluidas 21,05 millones de kilogramos (46,4 millones de libras) de empaque postconsumo y 41 millones de kilogramos (90,4 millones de libras) de empaque posindustrial. El Informe de reciclaje canadiense de 2019 muestra que se reciclaron 378 000 kilogramos (833 000 libras) de EPS postconsumo y 3,5 millones de kilogramos (7,7 millones de libras) posindustriales (EPS IndustryAlliancePackaging, s.f.).

Cuya alianza de reciclaje ha implementado programas de devolución por correo, en donde ponen a la disposición los envíos postales de EUA para envíos de EPS, si no hay reciclaje de EPS en una comunidad, con el fin de impulsar el reciclaje.

A continuación se muestra la tecnología y equipos existentes para transformar los desechos de EPS:

4.1.- Equipos de compactación

Equipo de trituración, molienda, eliminación de polvo, medición y compactación de espuma para operaciones de moldeo y reciclaje de espuma. Incluye un sistema de molienda gruesa y fina junto con un equipo dosificador y de eliminación de polvo para procesar poliestireno expandible.

Los compactadores reducen de forma segura el volumen de materiales de espuma en troncos densos y transportables que se pueden cargar hasta los límites de peso legales. No utiliza calentadores, no producen humos y no utilizan sistemas hidráulicos (EPS Industry Alliance Packaging, s.f.)

Figura 4.2 Compactadora y trituradora

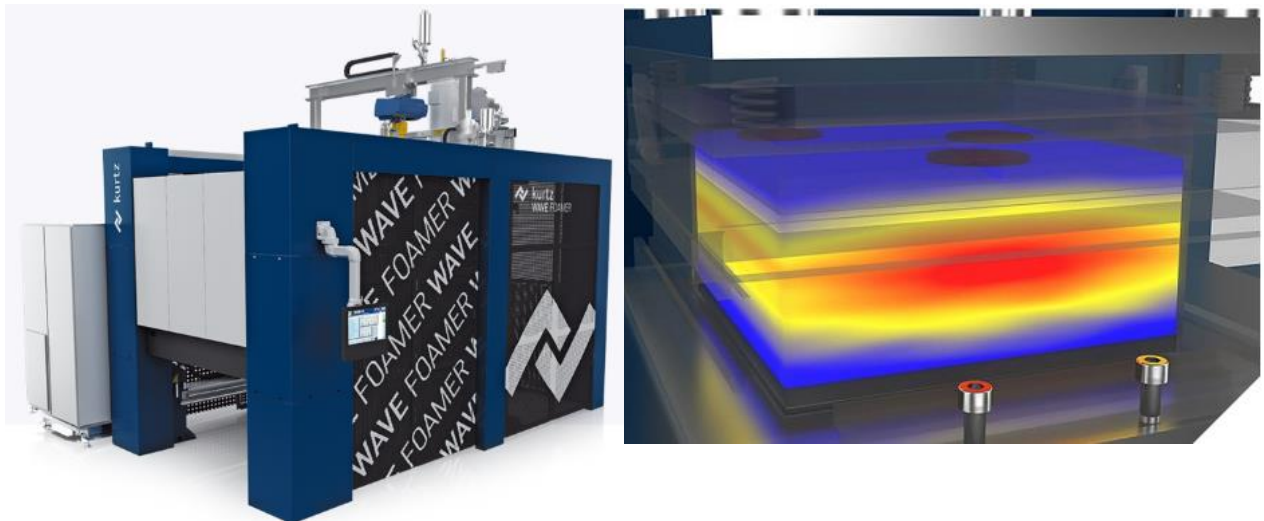


Fuente: (EPS Industry Alliance Packaging, s.f.)

4.1.1.- Compactación por fusión

Tecnología que consiste en fundir y moldear el EPS a altas temperaturas desde hasta 250°C sin hacer uso de vapor. A diferencia del proceso de vapor, la fusión se realiza desde el interior hacia el exterior mediante ondas electromagnéticas, consiguiendo así una perfecta fusión del núcleo, logrando un ahorro de hasta el 90% en costos de energía. No requiere una instalación de medios compleja, de un sistema de generación de vapor o una instalación de torre de refrigeración con depósito de agua. Por lo que se puede lograr una tasa de reciclaje de hasta el 100 % con EPS (Kurtz ersa, s.f.).

Figura 4.3 Compactadora por fusión (Kurtz ersa USA).



Fuente: (Kurtz ersa, s.f.)

La siguiente máquina (Figura 4.3) tiene la función de triturar las espumas plásticas a piezas pequeñas que las compacta convirtiéndola en bloques, particularmente la superficie de los bloques está ligeramente fundida para que tenga perfecta compactación y evitar que se afloje nuevamente la espuma en su interior. Cuya tecnología de compresión de tornillo produce bloques continuos.

Figura 4.4 Compactadora por tornillo y fusión.



Fuente: GreenMax Intco Recycling

4.1.2.- Compactación por presión

Densificación a partir de presión, sin uso de calor. Proceso en el que se utiliza una presión aproximada de 86,2 kilogramos (190,000 lbs) de presión aplicada hasta eliminar todo el aire y generar bloques. Cuyo proceso inicial puede ser por trituración o trozos pequeños de EPS.

4.1.3.- Compactación con vapor

Consta de un proceso inicial de picado del unicel reciclado por medio de un sistema de ferróniquel que trabaja con un transformador de 10 amperios cada uno. Se generan trozos pequeños para después integrarlo en su proceso de compactación, donde se utiliza material reciclado como virgen para formar bloques compactos que contienen un 40% de material reciclado. Utilizado para la construcción en paredes y pisos.

El bloque se forma combinando material virgen con reciclado, se hacen capas hasta llenar el molde, que por presión de vapor se compacta a 120 lb de vapor. Esta técnica es implementada en Colombia.

Figura 4.5 Corte de material y compactación por vapor



Fuente: (Agoriente2017)

4.1.4.- Densificado

Consiste en densificar el EPS por medio de calor con el fin de extraer el aire para un mejor manejo. Pasando primero por un proceso de trituración mecánica antes del densificado y una vez densificado pasa nuevamente a ser triturado para después pasar a ser peletizado y finalmente transformarlo en nuevos productos.

Figura 4.6 Proceso de transformación de EPS por densificación.



Fuente: (ArchDaily2019)

Países de Sudamérica como Brasil proporcionan revestimientos y elementos decorativos producidos a partir del EPS reciclado, con técnicas y equipos capaces de compactar y transportar el material directamente desde las empresas y cooperativas asociadas hasta la producción, reduciendo los costos y emisiones de CO₂ durante el transporte.

4.1.5.- Reciclaje químico por Pirólisis

La EPS-IA hoy en día apuesta por la espuma de poliestireno expandido, en donde en el 2019 el reciclaje de EPS tendió al alza como resultado de la recolección ampliada a programas y los principales avances en el reprocesamiento de tecnologías. Logrando el reciclaje del EPS a partir de la pirólisis, el cual es un proceso de reciclaje que puede convertir los desechos de EPS en nuevas aplicaciones de poliestireno a través de la ingeniería inversa para satisfacer las demandas del mercado existente. Se puede recuperar estireno como líquido con una pureza de hasta el 99%.

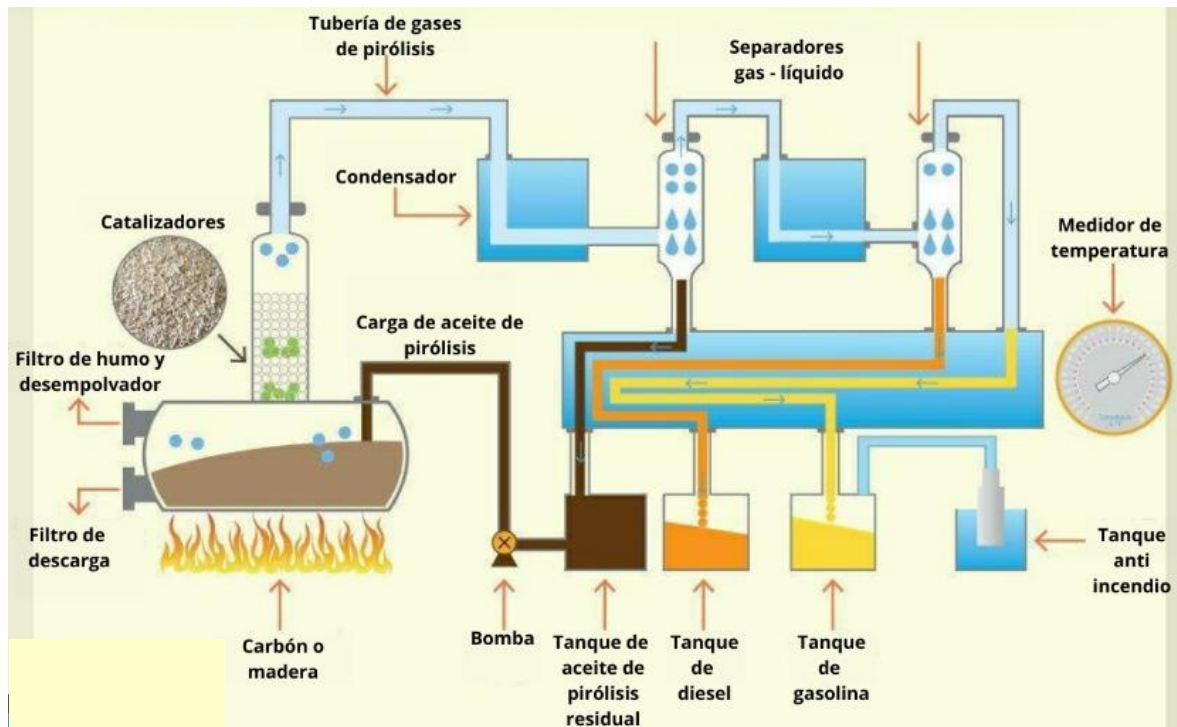
La Pirólisis es una técnica común utilizada para convertir los residuos plásticos en energía, en forma de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos. Consiste en la degradación térmica de los residuos plásticos a diferentes temperaturas (300-900°C), en ausencia de oxígeno, para producir aceite líquido.

Por lo general, el proceso se produce a temperaturas superiores a 430°C (800°F) y bajo presión. Implica simultáneamente el cambio de la fase física y la composición química y es un proceso irreversible.

Cuyo proceso consiste primero en pasar los desechos plásticos por un triturador para convertirlos en piezas pequeñas y hacer más fácil su procesamiento, para después pasar a un densificador en donde las piezas se convierten en un material denso, que pasan al reactor donde se realiza el proceso de pirólisis, el cual es calentado a una temperatura de alrededor de 450°C y que por medio de catalizadores y no presencia de oxígeno, se derrite el material plástico y se convierte

en gas, cuyos gases pasan a un condensador para convertirse en líquido, para después pasar al proceso de refinería para obtener los aceites, en el caso del unicel se obtiene el estireno.

Figura 4.7 Proceso de reciclaje químico por pirólisis.



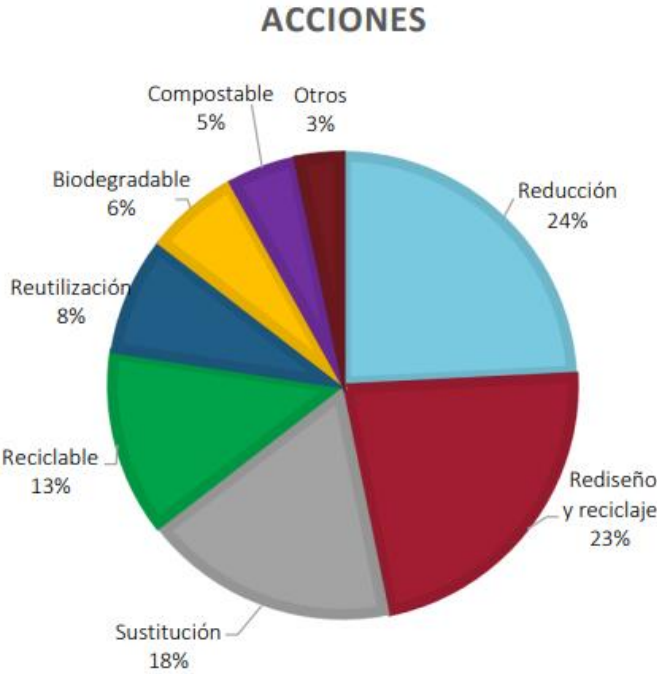
Fuente: REACTOR QUIMICO

4.2.- Recomendaciones de Reciclaje

El reciclaje si bien es fundamental, no es la única acción que se debe fomentar para lograr la circularidad de los plásticos. Como sector industrial se sabe la realidad ambiental que vivimos y por ello la importancia de eliminar aquellos plásticos que resultan innecesarios dentro de los empaques, envases u otros productos. Durante el primer año tras la firma del Acuerdo Nacional, la industria ha consolidado diversas acciones que tienen el propósito de eliminar de manera inmediata o gradual aquellos envases, empaques u otros plásticos considerados innecesarios o problemáticos.

Estas acciones van desde el rediseño, la reducción del material plástico utilizado, la sustitución de materiales, la aplicación de nuevas tecnologías amigables

con el medio ambiente, los plásticos biobasados entre otras. Las acciones planeadas por la industria con el propósito de eliminar los plásticos innecesarios, se pueden ver en la siguiente gráfica



De la gráfica anterior se observa que las empresas han optado mayoritariamente por trabajar en una reducción de materiales plásticos, seguido se encuentra el rediseño y el reciclaje, posteriormente otras acciones como la sustitución de materiales plásticos, que sean reciclables, la reutilización y algunas pocas han optado por el uso de materiales biodegradables y compostables entre otras acciones, para el cumplimiento de los compromisos adquiridos.

Donde la mayoría de las comprometidas con el Acuerdo Nacional para la Nueva Economía del Plástico en México han implementado de manera gradual una o varias acciones, de tal manera que progresivamente contribuyan a las metas establecidas y a los intereses sociales, medio ambientales y de gobierno. Ya que se busca eliminar los envases que pocas veces tienen un segundo uso y garantizar que el 100% de los envases, empaques y embalajes de plástico **puedan ser reutilizables, reciclables o compostables** de forma fácil y segura para 2025; así como su reincorporación a la cadena productiva (ANIPAC, 2019).

Figura 4.8 Compromisos del Acuerdo Nacional para la Nueva Economía del Plástico en México



Cuyos datos presentados reafirman el compromiso que tiene la industria en lograr un modelo de economía circular, reduciendo el consumo de materia prima virgen y eliminando los residuos desde el diseño de sus productos. La Industria juega un papel fundamental en la transición a la circularidad, sin embargo, esto no será posible sin la responsabilidad compartida y diferenciada que deben asumir en conjunto con la sociedad y el gobierno.

4.1.- Ventajas y Desventajas en las Técnicas de Manejo de Residuos de EPS

El reciclaje surge no sólo para eliminar residuos, sino para hacer frente al agotamiento de los recursos naturales del planeta. Una ventaja clave del unigel es que es 100% reciclable y los envases o embalajes de unigel desechados no se convierten en residuos, sino en una valiosa materia prima. Los residuos de unigel procedentes de una recolección selectiva, se seleccionan, se limpian y se reintroducen en el proceso productivo como materias primas secundarias. Utilizar materias primas secundarias en lugar de materia prima virgen significa:

- Ahorro de energía

- Ahorro de recursos naturales
- Ahorro de espacio en vertederos
- Menos contaminación
- Menos residuo

La siguiente tabla (tabla 4.1) muestra las ventajas y desventajas de las técnicas que se aplican hoy en día para reducir los desechos de unicel en el país, las cuales van desde el acopio para poder reutilizar y reciclar.

Tabla 4.1 Comparación de técnicas para reducir desechos de EPS en México.

Técnica	Ventajas	Desventajas
❖ Densificado	<ul style="list-style-type: none"> • Ahorro de materia virgen. • Menor costo de producción. • Fomenta la cultura de darle una nueva vida a los desechos de unicel. • Ayuda al medio ambiente • Implementación de economía circular. 	<ul style="list-style-type: none"> • No garantiza productos de alta calidad. • Requiere pasar por muchos procesos de tratado y transformación para obtener los productos finales. • Tiempos de producción mayor. • Mayores espacios de producción.
❖ Compactación	<ul style="list-style-type: none"> • Ahorro de materia virgen. • Menor costo de producción. • Reduce los desechos en vertederos y ayuda al medio ambiente. • Implementación de economía circular. • No contamina su proceso de transformación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayores espacios de producción. • Uso de materia virgen.
❖ Térmico y solventes	<ul style="list-style-type: none"> • No requiere de tratamiento inicial. • Menor costo de producción. • Proceso de producción más rápido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos de enfriamiento mayores.

❖ Gusanos que comen Unicel	<ul style="list-style-type: none"> • Desintegración por completo del unicel en menor tiempo. • Bajo costo 	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados más lentos.
----------------------------	---	--

Fuente: Elaboración propia

Como se puede analizar de la tabla anterior, es que las técnicas aplicadas hoy en día para reducir los desechos de unicel tiene más puntos favorables que en contra, las cuales nos indican que pueden ser aplicadas para beneficio tanto ambiental como social. Un ejemplo es el beneficio de compactar/densificar los desechos de unicel, hace que se aprovechen más los espacios, tanto de almacenamiento o transporte, por ejemplo a un camión le pueden caber 50 kg de residuos de unicel sin compactar, pero cuando son compactados/densificado puede caber en el mismo camión de 20 a 25 toneladas. Lo que nos dice del beneficio que tiene reducir su volumen.

En el caso específico de la fabricación de marcos a base de unicel reciclado, los beneficios se ven reflejados en la disminución de tala de árboles, ya que por cada tonelada de unicel reciclado se salvan 40 árboles; y si cuenta con una producción anual de 1200 toneladas, se obtiene que se salvan 48 mil árboles de no ser talados. Así también por cada tonelada de unicel reciclado se deja de emitir dos toneladas de dióxido de carbono.

Por el lado de no usar materia virgen de poliestireno como materia prima, se obtiene que por cada tonelada de unicel reciclado como materia prima, se deja de usar dos toneladas de petróleo que puede ser aprovechado para otros procesos de la industria petrolera.

4.2.-Concientización de reducir el uso de EPS

Como se ha demostrado anteriormente el EPS o bien el unicel, contrario a la idea generalizada, es un material que puede ser reciclado, incluyendo aquel que es conocido como post consumo (contaminado por alimentos y bebidas), y puede transformarse en una infinidad de productos como reglas o marcos para fotografía y en general, cualquier producto plástico que ya no tenga contacto con alimentos.

Al ser un material que está compuesto por un 95% de aire, lo que lo convierte en un material limpio y ligero y que además para su producción se requiere menos agua y energía que la destinada a otros productos similares fabricados de otros materiales.

Pero uno de los problemas que abundan hoy en día, es cómo generar proyectos que vinculen al gobierno y la iniciativa privada en beneficio de la sociedad, en concientizar a la gente al hábito del reciclaje y reutilización en México y así disminuir residuos y contribuir con el medio ambiente; pero desgraciadamente este tipo de proyectos no son suficientes, pero se espera que se sumen más iniciativas en un tiempo no lejano.

Figura 4.9 Reciclaje de unicel.



Fuente: (Dart de México, 2015)

Pero iniciativas como la empresa Dart de México, Marcos & Marcos y de los centros de acopio que fueron mencionados anteriormente, que demuestran que esto es posible en nuestro país y que cuando se unen esfuerzos todas las partes se ven beneficiadas, no solamente la población en general, sino que también el gobierno y las empresas privadas encuentran diversos valores agregados.

Demostrando que el unicel es uno de los plásticos más consumidos en México ya que únicamente en el 2011 en la Ciudad de México se generaron 1.50 kg de residuos sólidos por habitante en un día, de acuerdo a las estadísticas ambientales 2012 de la SEMARNAT. Esto da como resultado un total de 4,891 toneladas al año, de las 35,000 toneladas generadas en toda la República Mexicana, siendo una señal de alarma sobre la huella de carbono originada por una sola ciudad que es considerada entre las más grandes del mundo. Ya que 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.

Actualmente RECICLA UNICEL es una iniciativa sin fines de lucro, que forma parte fundamental en la difusión y valorización del unigel en México, iniciativa que trabaja en conjunto con Dart México, Marcos & Marcos y Rennueva. Donde su principal objetivo es informar cómo y dónde se puede reciclar el unigel en sus principales medios de difusión. También forma parte del Plan Nacional de Manejo de Residuos de Poliestireno Expandido, cuyo lema principal es #UnigelSíSeRecicla.

También existen iniciativas como CUÉNTAME DEL UNIGEL dedicada a informar a la sociedad sobre todo lo relacionado del UNIGEL, en cuya plataforma se brinda información de cómo reciclar el material, así como está asociada con los centros de acopio y organizaciones, brindándonos todo lo que debemos de saber del material mediante artículos y secciones informativas.

Como se puede ver, sí es posible implementar programas que impacten positivamente a la sociedad vinculando al gobierno, a la iniciativa privada y a la sociedad, con el fin de reciclar y reducir.

Figura 4.10 El unigel sí se recicla.



Fuente: Cuéntame del unigel

4.2.1.-Impacto Ambiental

Debido a que no hay una buena educación de reciclaje, los rellenos sanitarios suelen contener grandes cantidades de residuos, los cuales se vuelven en un problema, ya que puede que no tengan abastecimiento necesario o en otros casos extremos, los residuos sólo son desechados y llegan a los ríos u océanos.

Por otro lado hay ocasiones en que el EPS es incinerado con el resto de la basura en rellenos sanitarios o incluso en casas ajenas, estos producen la liberación de algunos hidrocarburos tóxicos, cloruro de hidrógeno, clorofluorocarbonos y dioxinas que también pueden ser llamados emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) que se sabe que son altamente venenosos y provocan daños a la atmósfera y a la salud. Pero hoy en día existen incineradores modernos con recuperación de energía, cuya energía generada por la incineración de vasos de poliestireno expandible y otros residuos sólidos puede proveer calor y luz para las comunidades vecinas, esto si se opta por la incineración, que como una mejor opción se debe de optar por la recuperación del reciclaje.

Por lo que si se recicla o se reutiliza, los espacio en los rellenos sanitarios pueden disminuir, ya que por cada 360 kilos de material del EPS reciclado, equivalente a 138,461 vasos o 53,731 contenedores térmicos, se ahorra 36 m³ en volumen de espacio en los rellenos sanitarios (Dart México, 2013).

En el mundo la tasa de reciclaje de EPS post-consumo y post-industrial es de alrededor de 19% y 25%, respectivamente, una de las más altas entre todos los tipos de plástico pese a las dificultades para su reciclaje. Una vez que el EPS se recicla y se vuelve a convertir en poliestireno, los fabricantes cuentan con una materia prima que se puede utilizar para fabricar otros productos, lo que permite reducir la demanda de resina virgen. Tan sólo en Estados Unidos se estima que la demanda doméstica de PS reciclado ha crecido 8% anual, de hecho en 2016 ascendió a una demanda de más de 20,000 toneladas y se espera que para 2022 llegue a más de 30,000 toneladas.

Es por ello que debemos de concientizar y buscar aquellas alternativas que nos permitan hacer uso de las tecnologías que existen en México, para lograr un manejo adecuado de los residuos sólidos urbanos del país y reducirlos. Ya sea unidcel de construcción o de consumo, debemos de estar informados sobre cómo pueden ser manejados durante su uso inicial y su disposición final; y al ser un material reciclado que permite regresar a ser materia prima para emplear la producción de nuevos productos.

CONCLUSIONES

- En la actualidad se estima que el consumo nacional de unicel es de 125 toneladas anuales, 25% se destina a la fabricación de desechables para alimentos y el 75% para empaques, embalajes y placas para la construcción.
- El EPS es un material plástico reutilizable al 100%, el cual puede ser utilizado como materia prima para elaborar productos para la construcción y productos que no tengan contacto con alimentos, como marcos para fotografía, reglas, porta CD's, entre otros.
- La principal técnica de transformación en el país es densificar el unicel a partir de calor para eliminar el aire y hacer más fácil su transportación y transformación a partir de extrusión.
- Actualmente existe poca infraestructura en el país dedicada a reciclar y transformar el unicel, debido al poco interés por parte del sector industrial y de los poderes de Gobierno ya que es un mercado no demandante actualmente.
- Puede considerarse un negocio desaprovechado en el país, ya que se demostró que existen alternativas de reciclaje que pueden ser baratas en inversión de infraestructura y transformación.
- De las técnicas aplicadas en México la más ecológica puede considerarse la utilización de los gusanos Tenebrios que se alimentan del unicel, ya que se aplica la degradación total del unicel en menor tiempo y que además puede aprovecharse como alimento.
- Comparando con las técnicas del resto del mundo, se cuenta en el país con la misma tecnología de densificar el EPS por calor, pelletizar y transformarlo por extracción, pero por el lado de las técnicas de compactación las formas iniciales de preparación del material reciclado varía dependiendo el tipo de transformación final deseada.

- De las técnicas de compactación demostradas, la más sofisticada actualmente y que por su forma de operación contribuye también con la disminución de las emisiones de CO₂, es la compactación por fusión por ondas electromagnéticas.
- Actualmente el reciclaje del EPS es más utilizado para productos de construcción como bloques u hormigones para relleno de suelos o paredes, ya que genera ahorro de material, es resistente a la humedad.
- Aprovechar al máximo los desechos de EPS que se generan en el país puede traer tanto beneficios económicos como ambientales, ya que su degradación lleva más de 500 años.

RECOMENDACIONES

- Generar más plantas pilotos recicladoras exclusivamente de unigel, que operen tanto como acopio y transformación de nuevos productos, con el fin de tener más medios de reciclaje. Cuya obtención de maquinaria y equipo puede ser obtenida localmente con la generada por parte de Rennueva con la densificadora REPS-01, logrando tener menor inversión inicial.
- Realizar un estudio de mercado de valoración de los productos generados a partir de unigel reciclado, para demostrar la factibilidad y beneficios que tienen dichos productos.
- Realizar maquinaria local que permita aprovechar el reciclaje de unigel en el país y que pueda ser utilizada para generar más plantas recicladoras, lo que trae ahorro de inversión y generación de empleo.
- Demostrar y difundir que el unigel sí se puede reciclar, mediante más centros de acopio a lo largo del país que permita la recepción de todo tipo de desecho post consumo, desechables y de embalaje; ya que en algunos centros de acopio existentes no son aceptados de todo tipo.
- Sumar esfuerzos con los medios de difusión actuales sobre el reciclaje de unigel, para demostrar y exigir a los Gobiernos de cada Estado de la República, se sumen a las acciones del reciclaje y que las empresas lleven a cabo adecuadamente el Plan Nacional de Manejo de Residuos de Poliestireno Expandido.
- Aplicar las técnicas existentes en otros países alrededor del mundo, requiere más interés por parte del Gobierno y de las grandes industrias que quieran invertir en tener espacios y maquinarias que permitan realizar la acción de reciclaje y así obtener mayores resultados en el mercado como un negocio factible a largo plazo.

- Incluir maquinaria con alta tecnología para aumentar el reciclaje y la producción efectiva como las aplicadas en otros países, requiere de capital e interés y para ello se requiere dar más difusión de las técnicas que se aplican en otras partes del mundo y demostrar los beneficios económicos como ambientales.
- Realizar estudios de capital de inversión inicial y de mercado que conlleva generar una planta piloto con cada una de las diferentes técnicas de reciclaje tanto mecánicas como químicas existentes actualmente.
- Realizar un estudio tanto de los beneficios y problemas ambientales que conlleva la aplicación de las técnicas de reciclaje de unicef desde el uso de maquinaria, las formas de tratamiento y de los productos finales generados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alianza de Recicladores de Embalajes de Espuma (2017). *Take a look at EPS recycling*.

Recuperado de: <http://www.epspackaging.org>

ANAPE (2019). *Reciclado de los envases y embalajes de EPS*. Recuperado de:

<http://www.reciclado-eps.com/#eerecicla>

ANAPE. El Poliestireno Expandido y el Medio Ambiente. Recuperado de:

<http://www.anape.es/pdf/EI%20EPS%20en%20el%20Medioambiente.pdf?publicacion=EI%20Poliestireno%20Expandido%20y%20el%20Medioambiente>

ANIQ (2019). *Unicel ¿Qué es?*. Recuperado de:

<http://www.aniq.org.mx/cipres/unicel/index.html>

Arriola L. E.; Velázquez M.F. (Agosto 2013). *Evaluación técnica de alternativas de reciclaje de poliestireno expandido (EPS)*. Recuperado el 18 de Febrero de 2019 de [web site]:

<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5033/1/Evaluaci%C3%B3n%20t%C3%A9cnica%20de%20alternativas%20de%20reciclaje%20de%20poliestireno%20expandido%20%28EPS%29.pdf>

Asociación Nacional de Poliestireno Expandido, ANAPE (2012), “Decálogo Medioambiental del EPS”. Recuperado de: <http://www.anape.es/>

Bloomberg (2017). Bloomberg Magazine. Recuperado de [Website]:

<https://www.bloomberg.com/markets/markets-magazine>.

Castillo Hdz. Mendoza A. y Caballero M.(2009) *Análisis de las propiedades físicas de la gasolina y diesel mexicanos reformulados con Etanol*. Recuperado el 17 de Febrero de 2017, de [wed site]:

http://www.ingenieria.unam.mx/~revistafi/ejemplares/V13N3/V13N3_art04.pdf

Charles A. Harper (1999). *Modern Plastics*. McGraw Hill, New York.

ChemicalSafety (2019). *Poliestireno*. Recuperado el 08 de abril de 2019 de:

<https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/poliestireno/>

Chile Oceana (2021). *Congreso aprueba ley que prohíbe plásticos de un solo uso e implementación comienza en seis meses*. Recuperado el 10 de Junio de 2021

[Website]: <https://chile.oceana.org/prensa/comunicados-de-prensa/congreso-aprueba-ley-que-prohibe-plasticos-de-un-solo-uso-e>

COSMOS (2019). *Información técnica y comercial del Thinner*. Recuperado de: <https://www.cosmos.com.mx/wiki/thinner-dxwj.html>

CUÉNTAME DEL UNICEL (2021). [Website]: <https://cuentamedelunicel.com/>

DART de México (2015). *Análisis del ciclo de vida de vasos desechables*. Recuperado de: https://www.dartcontainer.com/media/4073/mc2417mxsd_web.pdf

DART de México (2015). *Ficha Informativa*. Recuperado el 29 de abril de 2019 de: https://www.dartcontainer.com/media/4074/mc2418mxsd_web.pdf

DART de México (2016). *¿SABÍAS QUÉ EL UNICEL ES AMIGABLE CON EL MEDIO AMBIENTE? ¿Qué tanto conoces de él?* Recuperado el 28 de abril de 2019 de: http://embed.widencdn.net/pdf/plus/dart/zi6bwvxnm/E003MXSD_Web.pdf

DOF. *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos*. México (2003). Recuperado el 12 de Agosto de 2017.

ECOCE (2019). [Website]: <http://ecoce.mx>

EFE (6 de junio de 2018). *Sólo el 9 % del plástico usado en el mundo se recicla, advirtió la ONU*. [Website]: <https://www.elpais.com.uy/vida-actual/plastico-usado-mundo-recicla-advirtio-onu.html>

Epspackaging (2009). *Expanded Polystyrene Packaging /Environmental Profile Analysis*. Recuperado de: http://www.epspackaging.org/images/stories/EPS_Environmental_Profile_Analyses_lores.pdf

EUROPE OCEANA (2021). *Refillable systems could prevent 390,000 coffee cups from entering the sea in Denmark every year*. Recuperado el 22 de Junio de 2021 de [web site]: <https://europe.oceana.org/en/press-center/press-releases/refillable-systems-could-prevent-390000-coffee-cups-entering-sea-denmark>

Fundación UNAM (3 de Abril 2018). *En México, el consumo nacional de unicel es de 12 mil toneladas anuales*. Recuperado el 15 de junio de 2021 de: <https://www.fundacionunam.org.mx/unam-al-dia/en-mexico-el-consumo-nacional-de-unicel-es-de-125-mil-toneladas-anuales/>

- La vanguardia (2017). *Cual es el país que más basura genera*. Recuperado el 16 de Febrero de 2019, de [website]:
<http://www.lavanguardia.com/natural/20170423/421924362549/atlas-residuos-basura-paises.html>
- Martínez L.C.; Laines C.J. (2013). *Poliestireno expandido y su problemática ambiental*. Recuperado el 18 de febrero de 2019, de Revista de divulgación División académica de ciencias biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Mayorga Carlos. Et. Al. (2014). *RECICLADO DE POLIESTIRENO: OBTENCIÓN DE UN ADHESIVO*. Recuperado el 05 de Mayo de 2019 de:
<http://vinculacion.dgire.unam.mx/vinculacion-1/Congreso-Trabajos-pagina/PDF/Congreso-Estudiantil-2014/Proyectos-2014-Area/Ciencias-Biologicas/quimica/5.8%20CIN2014A10222-%20Quimica.pdf>
- Mendez D. (2014). El negocio global del reciclaje: China saca partido a la chatarra que Occidente desprecia. Revista electrónica: El confidencial. Recuperado de [Website]: http://www.elconfidencial.com/mundo/2014-02-04/el-negocio-global-del-reciclaje-china-saca-partido-a-la-chatarra-que-occidente-desprecia_84693/
- Minter Adam. *Junkyard Planet: Travels in the Billion-Dollar Trash Trade*. Bloomsbury Press; Edición: First (16 de enero de 2014). 304 pages.
- NaviEmpaques (Abril 2020). El unicec sí se recicla. Recuperado de [web site]:
<https://naviempaques.com.mx/blog/>
- NOVA Chemicals (2005). *Poliestireno Expandido*. Recuperado el 07 de abril de 2019 de [web site]: http://www.novachem.com/Product%20Documents/DYLITE-EPS_Guide_AMER_ES.pdf
- Omar García (Junio 2016). Kitcel. Reutilizadora de unicec. Recuperado de:
<https://www.proyectum.com/sistema/blog/kitcel-reutilizadora-de-unicec/>
- ONU (2019). *Día mundial del medio ambiente*. [Web site]:
<http://www.un.org/es/events/environmentday/>
- ONU (2019). *Medio Ambiente* [Web site]: <http://worldenvironmentday.global/es/>

- Organic Chemical Process Industry. Section 6.6.3 Polystyrene. Recuperado el 16 de Febrero de 2019, de: <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch06/final/c06s06-3.pdf>
- Plastics Technology México (2016). Unicel reciclado como negocio. Recuperado [web site]: <https://www.pt-mexico.com/articulos/unicel-reciclado-un-negocio-en-mexico>
- PLASCO (2018). México construye una industria del reciclaje de EPS. Recuperado el 25 de Julio de 2021, de: <https://www.plastico.com/temas/Mexico-construye-una-industria-del-reciclaje-de-EPS+125381>
- Recicla unicel. Plan Nacional de Manejo de Residuos de EPS. Recuperado el 17 de Febrero de 2019 de: <https://www.reciclaunicel.com.mx/media/1178/resumenejecutivoplannacionaldemanejodeeps.pdf>
- Rennueva (2021). *Tecnología Rennueva. Inicio* [Web site]: <http://rennueva.com/rennueva/>
- QuimiNet (Febrero 2015). *Métodos de transformación del poliestireno*. Recuperado [web site]: <https://www.quiminet.com>
- Salud.fdcimes (4 Abril 2015). Desventajas de poliestireno expandido. Recuperado [web site]: <http://salud.fdcimes.com/esp-public-health-safety/esp-public-health/1008076586.html>
- Samper M.C. (Julio 2008). *Reducción y caracterización del residuo de poliestireno expandido*. Recuperado el 08 de abril de 2019 de: <http://www.redisa.net/doc/artSim2008/tratamiento/A26.pdf>
- Semarnat (Mayo 2020). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>
- Semarnat (2012). *Residuos- Informe de situación del Medio Ambiente en Mexico*. Recuperado el 17 de Febrero de 2019, de [web site] : <http://www.semarnat.gob.mx/temas/estadisticas-ambientales/informes-y-otras-publicaciones/informes-del-medio-ambiente>
- Sánchez A. (2014). *Archivo: Reciclaje de unicel, un negocio desperdiciado*. Recuperado de El Financiero, de: <http://www.elfinanciero.com.mx/archivo/reciclaje-de-unicel-un-negocio-1.html>

Stephen L. Rosen. *Fundamental Principles of Polymeric Materials*. Second edition. A Wiley- Interscience Publication. New York.

Tecnología del Plástico (mayo 2018). *México construye una industria del reciclaje de EPS*. Recuperado el 12 de Abril de 2019 de: <https://www.plastico.com/temas/Mexico-construye-una-industria-del-reciclaje-de-EPS+125381>

Texto científico (2005) a. *Poliestireno Expandido*. Recuperado de: www.textoscientificos.com

Textos científicos (2005) b. *Propiedades Químicas del Poliestireno Expandido*. Recuperado de: www.textoscientificos.com

Texto científico (2005) c. *Usos y aplicaciones del EPS*. Recuperado de: www.textoscientificos.com.

Texto científico (2005) d. *Obtención de Estireno*. Recuperado de: www.textoscientificos.com

USA Oceana (2021). *Oceana Applauds Laguna Beach for Reducing Single-Use Plastic Food Ware*. Recuperado el 22 de Junio de 2021 [web site]: <https://usa.oceana.org/press-releases/oceana-applauds-laguna-beach-reducing-single-use-plastic-food-ware>