



**Universidad Nacional Autónoma de México.**

Maestría en Diseño Industrial  
Posgrado en Diseño Industrial  
Tecnología.

**Aprovechamiento del Poliestireno Expandido de Postconsumo.**

Una propuesta desde el diseño industrial

Tesis que para optar por el grado de Maestro en Diseño Industrial  
presenta:

Javier Mauricio Fajardo Romero

Comité tutor:

MDI. Brenda García Parra - Fac. de Arquitectura

MDI. Sandra Molina Mata

(Posgrado en Diseño Industrial Tecnología)

Mtro. Angel Groso Sandoval - Fac. de Arquitectura

Ing. Julián Covarrubias Valdivia - Fac. de Arquitectura

Dr. Mikhail Zolotukhin

(Instituto de Investigación en Materiales, U.N.A.M)

México, D.F. marzo, 2014.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# APROVECHAMIENTO DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO DE POST-CONSUMO.

UNA PROPUESTA DESDE EL **DISEÑO INDUSTRIAL.**

Tesis que para optar por el grado de Maestro en Diseño Industrial  
presenta: **Javier Mauricio Fajardo Romero.**  
Universidad Nacional Autónoma de México.  
Maestría en Diseño Industrial  
Posgrado en Diseño Industrial.  
México D.F., marzo 2014

Tutor principal:  
MDI. Brenda García Parra. Facultad de Arquitectura  
Miembros del comité tutor:  
MDI. Sandra Molina Mata. Facultad de Arquitectura  
Mtro. Ángel Grosó Sandoval. Facultad de Arquitectura  
Ing. Julián Covarrubias. Facultad de Arquitectura  
Dr. Mikhail Zolotukhin. Instituto de Investigación en Materiales.



## **Directora de tesis:**

MDI. Brenda García Parra.

## **Sinodales:**

MDI Sandra Molina Mata  
Mtro. Ángel Grosó Sandoval  
Ing. Julián Covarrubias Valdivia  
Dr. Mikhail Zolotukhin.

## Agradecimientos

A las siguientes instituciones por su amable colaboración para la realización del siguiente proyecto de investigación; y en especial a la UNAM, al Posgrado en Diseño y al Concejo de Ciencia y Tecnología “CONACYT” por su apoyo a través de la beca.



Así mismo quiero agradecer a las siguientes personas por su apoyo incondicional para la realización de este trabajo.





## Índice

Introducción	8
Justificación.	10
Propuesta de trabajo	12
<b>Capítulo 1. Entendiendo el problema.</b>	<b>14</b>
1.1 Desarrollo de problema	14
1.2 Problemática de residuos sólidos en el DF.	17
1.3 Ley de residuos sólidos del DF.	20
1.4 Inventario de residuos sólidos en el DF.	21
1.5 Viabilidad de aprovechamiento de los residuos reciclables.	21
1.6 El EPS en el total de residuos sólidos en el D.F	24
1.7 Normatividad en México respecto al reciclaje de EPS.	25
1.8 Normatividad mundial respecto al reciclaje del EPS.	27
1.9 Ausencia de estadísticas sobre el EPS en México	28
2.0 El acuerdo internacional sobre el reciclaje de EPS.	29
<b>Capítulo 2. ¿Qué son los plásticos?</b>	<b>31</b>
2.1 ¿Qué son los plásticos termoplásticos?	33
2.2 Consideración en torno al aprovechamiento del EPS.	33
2.3 Usos actuales del EPS	35
2.4 Alternativas de manejo del EPS post-consumo en el mundo.	40
2.5 Tratamiento del material post-consumo en México.	42
2.5.1 Caso Dart	42
2.5.2 Caso Utilcel®	47
2.5.3 Caso Universidad Veracruzana.	48
2.6. Empresas en el mundo que se encargan de reciclar el material.	48
2.6.1 Centros de investigación sobre el aprovechamiento del EPS	48
2.7. Estudios sobre impacto ambiental del EPS.	48
2.7.1 Caso México	49
2.7.2 Caso Europa.	49
<b>Capítulo 3. Diagnostico del consumo para el EPS</b>	<b>52</b>
3.1 Factores involucrados en la problemática del EPS.	53
3.2 Generación de un mercado para el EPS postconsumo	54
3.3 Modelo actual de consumo y desecho para el EPS en el D.F.	57
<b>Capítulo 4. Modelo teórico propuesto para el aprovechamiento del EPS postconsumo</b>	<b>59</b>
4.1. Metodología para desarrollar el modelo	59
4.2. Evolución modelos propuestos.	62
4.3 Cambios realizados en los modelos propuestos	76
4.4 Modelo definitivo	78
<b>Capítulo 5. Desarrollo del modelo definitivo sobre el aprovechamiento del EPS postconsumo</b>	<b>80</b>
5.1 Consideraciones antes de implementar el modelo de aprovechamiento.	80
5.2. Componentes del modelo definitivo.	84
5.3. Metodología usada para desarrollar nuevas aplicaciones industriales.	97
5.3.1. Límites y alcances de la propuesta	100
5.3.2. Descripción y ejecución y de la propuesta de comprobación.	100
<b>Capítulo 6. Resultados</b>	<b>114</b>
6.1. Reducción de residuos. Reciclabilidad del material.	114
<b>Capítulo 7. Conclusiones</b>	<b>119</b>
<b>Capítulo 8. Recomendaciones</b>	<b>123</b>
Bibliografía	127
Anexo1: Definiciones	131
Anexo 2. Propiedades mecánicas del material obtenido.	137



## Introducción

El impacto ambiental negativo ha estado relacionada desde la aparición del hombre en la Tierra hace cientos de miles años. Sin embargo cobra proporciones inimaginables con el advenimiento de la revolución industrial que generó una producción masiva y un detrimento en el ambiente sin precedentes.

Han sido varias las propuestas que se han planteado y emprendido para mitigar los impactos ambientales negativos que ha traído el desarrollo industrial sobre el ambiente. Desde los acuerdos gubernamentales hasta la prohibición de sustancias, pasando por métodos de diseño y producción más limpios y eficientes. Aunque se han hecho avances importantes en el tema, aún queda un largo camino por recorrer.

Hoy en día ha habido un cambio de paradigma en la concepción de la relación del hombre con su entorno, ya que se pasó del pensamiento antropocéntrico, -donde el hombre ya no es el protagonista de la vida en la Tierra-, a la concepción biocéntrica, -donde se ha entendido que el hombre es un ser más del ecosistema-.

Siguiendo este mismo pensamiento biocéntrico; el siguiente trabajo de investigación plantea una propuesta para el aprovechamiento del “EPS” o “expanded polystyrene” -por sus siglas en inglés-, material que surgió en la década de 1950, y que hoy en día se usa en un sinnúmero de aplicaciones y países donde recibe diferentes nombres. Algunas veces dichos términos corresponden a marcas, firmas y denominaciones generalmente de fabricantes que introdujeron o masificaron el uso del poliestireno:

Unicel o Hielo Seco - México

Icopor - Colombia

Telgopor - Argentina

Estereofón - Costa Rica

Tecnopor - Perú.

Plumavit - Chile.

Espuma Plast - Uruguay

Espuma-Flex - Ecuador.

El EPS se ha satanizado pues se cree que no es reciclable y carente de valor comercial cuando es desechado porque llega al final de su ciclo de vida, situación que provoca que sea dispuesto incorrectamente en rellenos sanitarios o en el entorno natural.

Desde esta perspectiva, el aporte de la disciplina del diseño industrial resulta de la mayor importancia pues se pretende cambiar esta perspectiva, al proponer un modelo de aprovechamiento para el EPS post-consumo, de forma que su ciclo de vida se pueda extender propiciando un mejor aprovechamiento de los recursos, incidiendo positivamente en el ambiente.

Dicha propuesta de trabajo se plantea para México D.F. pues es la ciudad donde se realizó el siguiente proyecto de investigación; sin embargo se espera que con las modificaciones respectivas este modelo se pueda replicar en diferentes ciudades no sólo de México sino de Latinoamérica, así como con otros materiales que actualmente son considerados sin valor comercial post-consumo.



## Justificación

Al trabajar en un proyecto relacionado con el aprovechamiento de residuos sólidos para el Distrito Federal, se estaría logrando reducir la cantidad de toneladas (t) que se generan en la ciudad estimadas en 13.000 (t)<sup>1</sup>, datos aportados por la Comisión para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos para el año 2011.

Al diseñar y proponer un modelo de aprovechamiento del EPS post-consumo para la ciudad, se estaría propiciando un mejor aprovechamiento de las 13 (t) aproximadamente que se generan al día en el DF de este material<sup>2</sup>; lo que impactaría positivamente en estos aspectos:

- El pepenador, pues se estaría mejorando su *modus vivendi* al ofrecerle pago justo por el acopio de un material carente de valor comercial hasta el momento.
- Para el Gobierno del Distrito Federal pues se reducirán sus gastos por concepto de disposición final de residuos.
- Para el ambiente pues se estaría minimizando el impacto negativo del EPS en el ambiente aprovechando de una manera más eficiente los recursos naturales. El reciclaje disminuye la cantidad de energía necesaria para fabricar productos porque evita extraer nuevos recursos para fabricarlos; demostrándose que el reciclaje de plásticos es redituable económicamente. Los datos posteriores respaldan dicha afirmación:

1. (Grupo Reforma, 2011)

2. (IBID 1)

*“En México, la generación de residuos plásticos ha crecido 6% al año mientras que el crecimiento de la recolección supera el 17% anual”.*

*“En 2008, la industria del reciclaje de plásticos recolectó el 24,4% del volumen de plásticos desechados por los consumidores, comercios e industria, destinando más de la mitad para su reprocesamiento y reciclaje en el país y el resto a la exportación, con un valor total de 740 millones de dólares”.*

*“Los materiales reciclados en 2008 representaron un ahorro de 960 millones de dólares en materias primas a los fabricantes de plásticos que los consumieron”.*

*“La industria del reciclaje de plásticos de México se compone de 300 empresas que dan empleo directo a más de 2.000 personas y generan empleos indirectos para más de 15 mil personas”.*<sup>3</sup>

3. (de la Tijera Coeto, 2010)



## Tema del presente trabajo de investigación.

Reciclaje, reutilización, ciclo de vida de materiales.

## Propuesta de trabajo:

Se pretende elaborar un modelo de aprovechamiento a partir del diseño industrial el “EPS-unicel” post-consumo de aplicación masiva en México D.F.; considerando todo el proceso de ciclo de vida del material, desde que se transforma en un producto hasta que termina su vida útil cuando es desechado por los usuarios; propiciando así un mejor aprovechamiento del material impactando positivamente en el ambiente.

Se plantean los siguientes objetivos específicos que serán desarrollados en el siguiente proyecto de investigación:

- Se generará una guía de diseño que permita a los diseñadores industriales proponer diferentes productos y aplicaciones para el “EPS” post-consumo. Se validará esta propuesta desarrollada directamente con un diseñador industrial a quién se le pedirá que diseñe un producto usando el modelo generado.
- Se evidenciará el ciclo de vida del material actualmente, y se propondrá otro donde no existe el concepto de “desperdicio”, ya que este será la materia prima para la elaboración de otros productos.
- Se elaborará un material a partir del “EPS” post-consumo, con el propósito de demostrar que el uncel si es 100% reciclable y eliminar el mito de que no lo es.

## Limitantes, alcances y oportunidades.

- Tiempo: año y medio, -tres semestres académicos correspondientes a 48 semanas.
- Aporte personal: Generar un material a partir del EPS post-consumo y diseñar con este un nuevo producto, aclarando que el producto resultante no es el único, ni el más viable; solo es una comprobación con el propósito de demostrar que este material es 100% reciclable y aprovechable.

Se espera que al finalizar el proyecto de investigación se cuente con un producto en fase 5: “TRL Prototipos básicos en etapa de prueba en un ambiente real” (remitirse a descripción de la propuesta, capítulo3)

- Asesores: Se espera contar con el apoyo de personas y empresas especializadas en los temas de producción, polímeros, ingeniería, diseño y reciclaje entre otros temas, quiénes puedan brindar su asesoría con el propósito de llevar a buen término este proyecto de investigación.
- Demandas: El proyecto deberá propiciar un mejor aprovechamiento del material, para que pueda ser reintroducido en un nuevo ciclo de vida de material convertido en otros productos, impactando positivamente en el ambiente.

Se espera elaborar un documento con la siguiente información, con el propósito de propiciar el aprovechamiento para el EPS post-consumo:

- > propiedades mecánicas del material
- > requerimientos de diseño
- > determinantes de diseño
- > normatividad vigente

- Oportunidades: Se entabló contacto y se visitó la planta de “DART” de México, S.A de R.L. de C.V en Atlacomulco, Estado de México con el Lic. Gerardo Pedra, Gerente corporativo de reciclaje, quién está dispuesto a prestar asesoría para el desarrollo del proyecto.

Al ser el EPS un material que hasta el momento no se ha explorado totalmente en su aprovechamiento post-consumo, se abre un campo de acción donde este proyecto puede tener cabida al plantear nuevas propuestas de trabajo usando el material generado.





# cap. 1

## Entendiendo el problema.

### 1.1 DESARROLLO DE PROBLEMA

Cuando el EPS es desechado sin ninguna consideración, su impacto en el ambiente natural resulta muy visible y reconocible. Por sus propiedades de durabilidad y al estar fabricado a partir del petróleo no existen mecanismos naturales que le permitan degradarse en corto tiempo -alrededor de 400 años<sup>4</sup>, situación que propicia que el EPS pueda albergar vectores y roedores, los mismos que pueden ser foco de enfermedades. Así mismo al estar en cuerpos de agua puede ser ingerido por animales ocasionándoles daño y hasta la muerte al ser confundido con alimento.

4. (UNAM, 2012)

Algunos otros problemas relacionados con el EPS:

- Con calor el material alcanza el punto de derretimiento, pudiendo ocasionar quemaduras. Al ser incinerado emite sustancias altamente cancerígenas.
- Ser irritante para los ojos, la piel y el sistema respiratorio durante su proceso de fabricación, debido al agente expansor (n-pentano, isopentano y/o ciclopentano), mismo que puede generar molestias e incluso afectar seriamente los pulmones.
- Durante su almacenaje, el material se debe conservar en un lugar bien ventilado, con el fin de evitar acumulación de gases debido a algún remanente en el compuesto expansor.
- En el transporte se debe evitar la generación de electricidad estática porque se puede generar un incendio.
- El EPS es 95% aire y 5% material, situación que lo hace ocupar gran volumen en su transporte y confinamiento.

A continuación se evidenciarán los escenarios posibles de formas inadecuadas de desechar el EPS post-consumo:

#### Situación de desecho al aire libre:

El material, actúa como un escudo que bloquea la infiltración de agua lluvia y el calentamiento del sol sobre el suelo, haciendo que el equilibrio de este sistema se rompa alterando su ciclo natural; generando desertificación, acidificación y un cambio en las características naturales del suelo, así como también un impacto negativo al ambiente circundante.

Al ser desechado al aire libre podría facilitar que el material termine a su vez en cuerpos de agua, donde afectará los ecosistemas acuáticos.

#### Situación de desecho en rellenos sanitarios:

El EPS ocupa volumen impidiendo que otros residuos que no son reciclables sean dispuestos en rellenos sanitarios, haciendo que la vida útil de estos en cuanto a almacenamiento se refiere disminuya.

#### Situación incinerándolo:

El peor escenario para la disposición final post-consumo del EPS es incinerándolo debido a la presencia del pentano, que además de ser un compuesto inflamable, al quemarse genera vapores que son altamente tóxicos para el ambiente y las personas. Otras sustancias desprendidas durante su combustión son:



- Estireno monómero -clasificado como cancerígeno-: tiene un olor característico que puede ser detectado en concentraciones entre 25ppm y 50ppm y que llega a ser insoportable entre 200ppm, y 400ppm. La irritación de los ojos y nauseas pueden ocurrir a 600ppm y algunos daños neuronales pueden ocurrir a 800ppm.<sup>5</sup>
- Bromuro de hidrógeno.
- Monóxido de carbono. “fatal si se inhala entre 1 y 3 minutos a concentraciones de 10.000 ppm a 15.0000 ppm.”<sup>6</sup>
- Otros compuestos aromáticos saturados e insaturados.

Debido a la razones mencionadas anteriormente, y con el propósito de disminuir el riesgo si se incinera, actualmente en el mercado existen dos clases de EPS, el estándar “P” y el retardante de flama o “F”, el cuál es catalogado como riesgo clase 9 (riesgos varios) con número de clasificación 2211 por el Subcomité de las Naciones Unidas para el Transporte de Mercancías Peligrosas y el Departamento de Transporte de Estados Unidos de América (DOT) por sus siglas en inglés.

A continuación se muestra una tabla con los datos del EPS tipo “F” y tipo “P

Toxicidad de humos del EPS

Muestra	Fracciones emitidas (v/v) en ppm a diferentes temperaturas.				
	Gases desprendidos	300°C	400°C	500°C	600°C
EPS tipo “F” con retardante de llama	Monóxido de carbono.	50*	200*	400*	1000*
	Estireno monómero.	200	300	500	50
	Otros compuestos aromáticos.	Fracciones	10	30	10
	Bromuro de hidrógeno.	0	0	0	0
EPS tipo “P” (estándar)	Monóxido de carbono.	10**	50**	500**	1000**
	Estireno monómero.	50	100	500	50
	Otros compuestos aromáticos.	Fracciones	20	20	10
	Bromuro de hidrógeno.	10	15	13	11

Leyenda: \*ardiendo sin llama \*\* con llama.

Tabla 1. Toxicidad de humos del EPS. Fuente: European Manufacturers of EPS. Año 2012 . Elaboración propia

5. (AAPE. Asociación Argentina del Poliestireno Expandido, 2005)z

6. (IBID 5)



### Al ser desechado en cuerpos de agua:

Cuando el EPS termina en cuerpos de agua, como lagos, ríos o incluso en el mar, su composición mayormente de aire le permite flotar en la superficie donde se diluye en pequeños fragmentos que son consumidos por peces y otras criaturas acuáticas que lo confunden con su alimento. Una vez es ingerido, el EPS ocupa espacio en los intestinos de los animales, que al no poderlo digerir mueren por inanición.

### 1.2 PROBLEMÁTICA DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DF.

Los residuos sólidos urbanos se pueden entender como “aquellos que se generan en casas habitación, son resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole”.<sup>7</sup>

De acuerdo con la Secretaría del Medio Ambiente del DF, en su Comisión para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos del DF (datos del año 2011), en la ciudad se generan diariamente 13.000 toneladas de residuos al día en la siguiente proporción:

- 55.58% corresponde a residuos orgánicos
- 20.30 % a materiales potencialmente reciclables.
- 24.12% materiales sin valor económico en el mercado.<sup>8</sup>

Pero uno de los principales problemas con este inventario es que en la categoría “plásticos, de manejo especial”, están contemplados el: PET, PELD, PEHD, PP, PVC, PC y PS; sin embargo estos polímeros son muy diferentes entre sí, por su forma de obtención, manufactura, aplicaciones y reciclaje, características que deberían impedir que sean clasificados como similares.

La siguiente tabla evidencia los tipos de residuos que se generan al día en el DF, así como un estimado de su aprovechamiento.

7. (Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal, 2012)

8. (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2010)



Desglose de residuos sólidos manifestados en planes de manejo															
Tipo de residuos	Comercio			Industria			Servicios			Otros			Total		
	Gen (ton/d)	Aprov (ton/d)	Aprov %	Gen (ton/d)	Aprov (ton/d)	Aprov %	Gen (ton/d)	Aprov (ton/d)	Aprov %	Gen (t/d)	Aprov (t/d)	Aprov %	Gen (ton/d)	Aprov (ton/d)	Aprov %
Residuos orgánicos															
R. alimentos	33.448	0.881	3	25.276	5.527	22	144.617	1.832	1	0.003	0	0	203.546	8.240	4
R. Jardinería v poda	1.008	0	0	3.677	0.289	8	9.625	0.172	2	0	0	0	14.311	0.461	3
Residuos Inorgánicos															
Algodón v trapo	0.228	0	0	1.634	0.035	2	5.505	0.294	5	0	0	0	7.367	0.329	4
Cartón	54.772	24.362	44	328.502	122.777	37	32.820	14.169	43	0.006	0	0	416.100	161.308	39
Fibras sintéticas	0.120	0	0	0.901	0.518	57	0.711	0.141	20	0	0	0	1.732	0.659	38
Hule	0.202	0.060	30	1.172	0.390	33	0.996	0	0	0	0	0	2.370	0.450	19
Lata	1.242	0.131	11	0.544	0.265	49	5.798	2.256	39	0	0	0	7.584	2.652	35
Loza v cerámica	0.076	0.002	2	0.074	0	0	1.174	0.030	3	0	0	0	1.325	0.032	2
Madera	1.581	0.246	16	119.333	4.355	4	5.414	2.151	40	0.008	0	0	126.336	6.752	5
Metal ferroso	150.543	150.273	100	41.329	22.875	55	1.636	0.655	40	0.038	0	0	193.546	173.803	90
Metal no ferroso	0.462	0.242	52	13.393	12.141	91	12.067	0.024	0	0	0	0	25.922	12.407	48
Papel	4.336	0.589	14	267.859	39.478	15	44.722	8.996	20	0.007	0	0	316.913	49.064	15
Plástico	8.093	2.498	31	15.354	3.964	26	26.873	5.127	19	0.002	0	0	50.321	11.609	23
Sanitarios	25.843	0.128	0	17.998	0.913	5	32.202	0.126	0	0	0	0	76.043	1.167	2
Vidrio	2.062	0.748	36	26.250	24.451	93	5.396	0.154	3	0	0	0	33.708	25.354	75
Residuos de manejo especial															
Alimentos no aptos para consumo	5.646	3.986	71	15.049	5.403	34	6.342	0	0	0	0	0	27.037	9.028	33
Automotrices	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0	0
Construcción	0.065	0.065	100	18.425	0.546	3	2.066	0.062	3	0	0	0	20.556	0.673	3
Cosméticos	0	0	0	0.768	0	0	0	0	100	0	0	0	0.768	0	0
Enseres	0.195	0.190	97	0	0	0	0.002	0	0	0	0	0	0.197	0.190	96
Laboratorios	0.050	0	0	3.861	0	0	0.913	0	0	0	0	0	4.824	0	0
Lodos	0.011	0	0	18.856	0.016	0	1.219	0.002	0	0	0	0	20.086	0.018	0
Médico asistencial	0	0	0	0.449	0	0	17.714	0.021	0	0	0	0	18.164	0.021	0
Muebles	0.130	0.130	100	0.008	0.008	100	0.158	0.150	95	0	0	0	0.296	0.288	97
Neumáticos	0.108	0.016	15	0.377	0.015	4	1.168	0.007	1	0	0	0	1.653	0.038	2
<b>PET, PELD, PEHD, PP, PVC, PC v PS</b>	<b>0.549</b>	<b>0.039</b>	<b>7</b>	<b>20.257</b>	<b>5.082</b>	<b>25</b>	<b>5.759</b>	<b>4.038</b>	<b>70</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>26.565</b>	<b>9.159</b>	<b>34</b>
Tecnológicos	0.096	0	0	0.116	0.001	1	0.514	0.040	8	0	0	0	0.726	0.041	6
Veterinarios	0	0	0	0	0	0	7.281	0	0	0	0	0	7.261	0	0
<b>Total general.</b>	<b>291</b>	<b>185</b>	<b>63</b>	<b>941</b>	<b>249</b>	<b>26</b>	<b>373</b>	<b>40</b>	<b>11</b>	<b>0.062</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1.605</b>	<b>474</b>	<b>30</b>

Tabla 2. Desglose de residuos sólidos manifestados en planes de manejo. Fuente: Inventario de residuos sólidos del DF. Año 2011.<sup>9</sup> Elaboración propia.

9. (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2013)



Debido a la falta de estadísticas confiables, sólo se puede inferir que la tasa de desecho para estos plásticos está estimada en  $26 (t)^{10}$  x día, haciendo imposible saber con exactitud la cantidad de EPS desechado y el % del mismo aprovechado. Así mismo estas estadísticas permiten conocer que el mayor productor de estos polímeros es la industria, seguido por el sector servicios y por último el comercial.

Otro de los problemas relacionados con el EPS, es que actualmente no resulta redituable económicamente para su re-aprovechamiento post-consumo porque sólo el 5% de cada pieza es material y el restante 95% es aire; dicha característica lo hace muy liviano, situación que obliga a los pepenadores a recoger grandes volúmenes de material. Otra variable que influye en la rentabilidad económica, es que hasta el momento no existe una aplicación industrial masiva para el EPS post-consumo que propicie que alguna empresa lo demande para fabricar otros productos empleando dicha materia prima.

### 1.3 LEY DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DF.

Entró en vigencia el 1º de enero de 2004, sin embargo su aplicación quedó pospuesta para comienzos de 2009. La razón fundamental para su creación era reducir la gran cantidad de residuos que eran depositados en el único relleno sanitario adecuado con el que contaba la ciudad, “El Borde Poniente”, el cual fue clausurado en 2011. En esta ley específicamente en el artículo 6 se responsabilizaba a la Secretaría de Obras y Servicios junto con las 16 delegaciones de la ciudad a recolectar la basura domiciliaria gratuitamente.

Para dicho propósito, la ley exhortaba a las personas que separaran sus residuos en orgánicos e inorgánicos -sopeso de recibir amonestaciones verbales o llegar a multas, si no se entregan los residuos al camión recolector separadas debidamente-, con el fin de permitir su disposición final. La ley contemplaba una campaña de concientización para tal fin y la modernización del servicio de limpia de la ciudad, compuesta por:

- Un relleno sanitario.
- Tres plantas de separación de residuos sólidos.
- Trece estaciones de transferencia.
- Más de 17.000 trabajadores.
- Una flota de camiones recolectores superior a las 2.000 unidades.

Como queda expuesto en un apartado de la ley, su razón de ser consiste en: “fomentar la responsabilidad de toda persona, física o moral, en el Distrito Federal, de separar, reducir y evitar la generación de residuos sólidos. Todo generador de residuos tiene la obligación de entregarlos al servicio de limpia”.

<sup>10</sup> IBID (1)

A su vez también prohíbe disponer de formas inadecuadas los residuos sólidos; arrojándolos a la vía pública, quemándolos a cielo abierto o depositándolos en contenedores ubicados en espacio público. También hace referencia al especial tratamiento que deben tener ciertos residuos peligrosos como material de construcción o material biológico.

El pepenar en los camiones recolectores, en la calle o en sitios no dispuestos para tal fin también está catalogado como una infracción a la ley<sup>11</sup>.

### 1.4. INVENTARIO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DF.

El inventario de residuos sólidos es un estudio anual realizado por la Secretaría del Medio Ambiente del DF que proporciona datos acerca del manejo de residuos sólidos en la ciudad; mostrando las diferentes etapas por las que pasa la basura (generación, recolección, transferencia, selección y disposición final)<sup>12</sup>; así como los planes de gestión de basuras que se han implementado en la ciudad con el fin de mitigar este problema.

Los datos contenidos en dicho estudio permiten trazar un plan de ruta con varios propósitos, disminuir la cantidad de residuos que se generan, hacer estadísticas para prever el comportamiento de los desechos, analizar y estudiar nuevos programas de gestión con el fin de permitir un aprovechamiento más eficiente de los residuos.

Dichos estudios se realizaban anualmente con el fin de conocer el comportamiento en la generación de residuos sólidos urbanos- RSU-, y la eficacia de los programas para la reducción de los mismos, sin embargo desde el año 2011 el inventario no se volvió a hacer con la desaparición de la “Comisión para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos del DF”.

### 1.5. VIABILIDAD DE APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS RECICLABLES.

Desde una óptica ambiental no existen residuos inofensivos porque cualquiera que estos sean, si están dispuestos en lugares, en formas incorrectas o en grandes volúmenes pueden generar graves problemas ambientales; por este motivo se hace necesario manejarlos adecuadamente<sup>13</sup>.

En torno a la viabilidad del aprovechamiento de los residuos sólidos, uno de los principales problemas que enfrentan los pepenadores es la falta de un precio de referencia; el costo puede variar muchas veces de ciudad a ciudad, de delegación a delegación o de comprador a comprador para la materia prima.

<sup>11</sup>. (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2010)

<sup>12</sup>. (Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal, 2012)

<sup>13</sup>. (Cortinas de Nava, Cristina, 2008)



A continuación se muestran tablas con el precio de compra de algunos materiales reciclables:

material	toneladas anuales (miles de toneladas)	precio por tonelada (miles de pesos)	importe (miles de pesos)
Acero inoxidable	12	5	60,000
Aluminio bote	156	8	1'248,000
Aluminio granel	168	9	1'512,000
Bronce	9.6	8	76,800
Cartón y papel	1,810.98	0.8	1'448,784
Cobre	64.8	14	907,200
Colchones	6	5	30,000
Fierro gris colado	1,860	1.1	2'046,000
Fierro y lámina	4,000.02	0.96	3'840,019
Hueso y cebo	132	1.5	198,000
Magnesio	7.2	13	93,600
Monedas Desmonetizadas	6	17	102,000
Plástico	540	1.6	864,000
Plomo y baterías	48	4	192,000
Rebaba de bronce	10.8	8	86,400
Tortilla	6	1	6,000
Trapo	120	0.3	36,000
Vidrio	294.84	0.5	147,420
ZAMAC	16.8	5	84,000
TOTAL	9,269.04		12'978,223.2

Tabla 3. Situación de los residuos en México. Fuente: Inare. Citado en: Manual 1. Introducción y Elementos de Técnica Regulatoria. Serie de Manuales para Regular los Residuos con Sentido Común. Cámara de Diputados. LVIII. Legislatura. PVEM. 2002. Tomado de: Situación de los residuos en México. Elaboración propia.

Mayo 2011		
PET	Mínimo (MXN/kg)	Máximo (MXN/kg)
A granel	1.50	7.00
En pacas	5.50	8.00
Molido sucio	8.50	9.50
Lavado en caliente	10.00	16.00

Tabla 4. Precio del "PET"-Polietilen Tereftalato. Fuente: Recimex. Elaboración propia.

PET	mxn/kg
Cristal	8.00
Verde	7
Mixto	7.40

Tabla 5. Precio del "PET" en la planta de Irapuato, Guadalajara, México, precio a partir de 15 (t) para la empresa Petmex. Fuente: Recimex. Elaboración propia.

La información anteriormente citada nos permite inferir que:

- El precio por kg de plástico acopiado es inferior a otros materiales, como los metales.
- Los polímeros se encuentran rezagados en su aprovechamiento respecto a otros materiales.
- No se especifica tarifas diferenciales para los distintos tipos de polímeros, ni mucho menos para los de la misma categoría, por ejemplo PS: cristal, expandido (EPS), o de alto impacto (HIPS).
- Aun cuando se trate del mismo tipo de material, el precio varía según la planta de reciclaje.

Sin embargo, el precio del material reciclable aumenta o disminuye según las siguientes variables:

- Calidad del material: limpieza, presentación, contaminación.
- Cantidad que se vende: a mayor volumen mejor precio.
- Regularidad con la que se puede suministrar: a mayor regularidad, mejor precio.
- Ubicación en el país: mientras más lejos se encuentra del comprador, el costo del flete es más caro.
- "¿Quién se hace cargo del flete: el proveedor o el comprador?"<sup>14</sup>

Así mismo se investigó cuáles empresas en el país compran residuos potencialmente reciclables y de estas, cuáles compraban específicamente EPS post-consumo. Estas fueron las empresas:

- Inare
- Recupera México
- Petmex
- Alcamare
- Recimex.
- Rennova.
- Paper Waste Recycling (solamente esta empresa compra EPS post-consumo en México, a un costo de 1500 MXN x tonelada.

14. (Recimex, 2012)



Analizando la información anterior, se deduce que el precio pagado por EPS post-consumo es inferior comparado con otros plásticos como el PET.

### 1.6. EL EPS EN EL TOTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL D.F



Figura 1. Residuos dispuestos de una manera incorrecta en las calles del DF, colonia Roma Norte. Se puede apreciar la gran cantidad de artículos fabricados en polímeros, incluyendo en EPS. Fuente: propia.

Después de realizar una visita a un supermercado y tienda por departamentos de la ciudad es evidente la cantidad de productos fabricados con el EPS -“expanded polystyrene” por sus siglas en inglés, desde charolas, vasos, platos que estarán en contacto directo con pollo, carne, pescado; artículos desechables, así como también productos para construcción y ornamentación. Así mismo es frecuente encontrar vasos para bebidas calientes en tiendas de conveniencia (Oxxo, 7/11, Extra) fabricadas con este material.



Figura 2. Algunos productos fabricados con “EPS”. Fuente: propia. Algunos envases y embalajes para alimentos.



Figura 3. Algunos productos fabricados con “EPS”. Fuente: propia. Productos destinados para construcción y decoración.

En un primer conteo se identificaron al menos 17 marcas diferentes de alimentos y bebidas que utilizan el EPS para empacar, transportar, exhibir o fabricar sus productos, entre las más conocidas se encuentran: Dart, Convermex Recymex, Reima, Plásticos Primo, Cuevas y Urpi. Dicho material se usa en diversas aplicaciones como desechables, material para construcción y productos para embalaje entre otras aplicaciones.

### 1.7. NORMATIVIDAD EN MÉXICO RESPECTO AL RECICLAJE DE EPS.

En México no existe una ley, norma o reglamento<sup>15</sup> que especifique acerca de la fabricación, consumo o gestión para el EPS; sin embargo, existen dos regulaciones que hacen alusión a dicho material. Una de ellas, la más reciente fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de febrero de 2013 por Semarnat la cual se llama “NORMA Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo”<sup>16</sup>. Sin embargo esta norma no especifica, entre otros aspectos: producción, criterios de revalorización post-consumo, ciclo de vida del material, acopio, transporte o densificación del mismo; presentando el mismo problema que las leyes posteriores: considerar a todos los residuos de manejo especial como iguales y por ende con un tratamiento similar.

15. Ley: Norma jurídica de obligatorio cumplimiento que se encarga de regular conductas de manera general y constante en el orden público. Expedida por el congreso o las legislaturas de los estados.

Decreto: acto administrativo de carácter normativo y reglamentario expedido por el poder ejecutivo que se encarga de tratar temas específicos dentro la sociedad.

Reglamento: serie de normas que nos ayudan a estar en armonía y a mantener el orden. Expedida por un ente específico y de acción local.

16. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO3015.pdf>



“Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos”,<sup>17</sup> publicada por primera vez en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003; donde en su artículo 1 se cita. “*La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, en el territorio nacional. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente adecuado y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación, así como establecer las bases para:*

IV. *Formular una clasificación básica y general de los residuos que permita uniformar sus inventarios, así como orientar y fomentar la prevención de su generación, la valorización y el desarrollo de sistemas de gestión integral de los mismos;*

“VI. *Definir las responsabilidades de los productores, importadores, exportadores, comerciantes, consumidores y autoridades de los diferentes niveles de gobierno, así como de los prestadores de servicios en el manejo integral de los residuos;*

VII. *Fomentar la valorización de residuos, así como el desarrollo de mercados de subproductos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica y económica, y esquemas de financiamiento adecuados;*

VIII. *Promover la participación corresponsable de todos los sectores sociales, en las acciones tendientes a prevenir la generación, valorización y lograr una gestión integral de los residuos ambientalmente adecuada, así como tecnológica, económica y socialmente viable, de conformidad con las disposiciones de esta Ley;*

Sin embargo a esta ley se le hicieron algunas modificaciones, específicamente en marzo del 2011 donde se proponía un punto de acuerdo en la que se exhortaba a la “Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) a hacer cumplir la Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos referente al manejo aplicable a productos de consumo que, al desecharse, se convierten en residuos peligrosos, en particular el unicel y demás plásticos.”<sup>18</sup>

17. (gaceta.diputados.gob.mx, 2003)

18. (Cámara de Diputados. LXII Legislatura, 2012)

Después de la sesión llevada a cabo por el H. Congreso de la Unión, se llegó a un único punto de acuerdo:

“*La Cámara de Diputados del honorable Congreso de la Unión exhorta respetuosamente a la Semarnat para que elabore los programas que garanticen el manejo adecuado y reciclaje del unicel y demás plásticos de uso comercial e industrial, acorde con el programa nacional para la prevención y gestión de los residuos*”.

### 1.8. NORMATIVIDAD MUNDIAL RESPECTO AL RECICLAJE DEL EPS

Algunas normatividad internacional hablan sobre el manejo de envases y residuos fabricados con el EPS, sin embargo otras no especifican este material dentro de su legislación; dicha característica está relacionada con la rigurosidad de la institución y del país.

Las más importantes se citarán a continuación:

- “ISO 14000 son una serie de normas internacionales para la gestión medioambiental. Es la primera serie de normas que permite a las organizaciones de todo el mundo realizar esfuerzos medioambientales y medir la actuación de acuerdo con unos criterios aceptados internacionalmente. La ISO 14001 es la primera de la serie 14000 y especifica los requisitos que debe cumplir un sistema de gestión medioambiental El objetivo general tanto de la ISO 14001 como de las demás normas de la serie 14000 es apoyar a la protección medioambiental y la prevención de la contaminación en armonía con las necesidades socioeconómicas. La ISO 14001 se aplica a cualquier organización que desee mejorar y demostrar a otros su actuación medioambiental mediante un sistema de gestión medioambiental certificado”.<sup>19</sup>
- ASTM D 7209. Standard Guide for Waste Reduction, Resource Recovery, and Use of Recycled Polymeric Materials and Products. Significance and Use. Esta guía está enfocada para comités y agencias cuya misión sea desarrollar metodologías relacionadas con el reciclaje, reducción de basura y recuperación de recursos.

Así mismo esta guía contiene, especificaciones, pruebas, terminología relacionada con reducción de desperdicios y la recuperación de energía, tanto para termoplásticos como para termofijos. Especifica criterios para reciclaje separación y contaminantes.

19. [www.analizacalidad.com/docftp/fi1122iso14.htm](http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1122iso14.htm)



- ISO 17422, *Plastics – Environmental aspects – General guidelines for their inclusion in standards*. Esta guía contiene especificaciones relacionadas con los diferentes métodos para el aprovechamiento de plásticos, desde el energético (combustión controlada) hasta el reciclaje (mecánico, físico, químico biológico). Esta ley específicamente no habla sobre el EPS.
- BSI BS EN 15342: *Plastics – Recycled Plastics – Characterization of polystyrene (PS) recyclates*. Especifica los métodos de producción idóneos para el material; explica el procedimiento adecuado para disponer del material antes de ser reciclado. Habla sobre el reciclaje del EPS usando métodos físicos, químicos y mecánicos.

#### Ley de uso de envases no retornables. Uruguay.

En este país existe la “Ley # 17.849<sup>20</sup> donde se especifica acerca del uso de envases no retornables, donde cita en su *Artículo 1º*.” (*Declaración*). - *Declárese de interés general, según lo previsto en el artículo 47 de la Constitución de la República, la protección del ambiente contra toda afectación que pudiera derivarse de los envases cualquiera sea su tipo, así como del manejo y disposición de los residuos de los mismos*”.

Más adelante esta misma ley cita:

“El Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, dictará las providencias y aplicará las medidas necesarias para regular los tipos de envases y prevenir la generación de residuos, de conformidad con los principios de política nacional ambiental, establecidos en el artículo 6º de la Ley Nº 17.283, de 28 de noviembre de 2000”.

“A tales efectos, promoverá la reutilización, el reciclado y demás formas de valorización de los residuos de envases, con la finalidad de evitar su inclusión como parte de los residuos sólidos comunes o domiciliarios<sup>21</sup>”.

#### 1.9. AUSENCIA DE ESTADÍSTICAS SOBRE EL EPS EN MÉXICO

- El mercado del aprovechamiento de los residuos en la Ciudad de México es informal, por ende no hay estadísticas confiables sobre el tema.

20. (Parlamento del Uruguay., 2012)

21. (IBID 16)

- Los datos proporcionados por Aniq (Asociación Nacional de la Industria Química) y Anipac (Asociación Nacional de Industrias del Plástico) , son ambiguos y carecen del rigor estadístico que deberían tener al no especificar las diferentes clases de polímeros, así como su fuente de origen, disposición final o % de aprovechamiento de los mismos.
- Hasta el momento el EPS post-consumo no había despertado mucho interés para ser estudiado por parte de los diferentes actores como gobierno, empresas y usuarios, por lo tanto la información con la que se cuenta es poca.
- No existen leyes específicas para la producción, tratamiento y cuantificación del EPS en México.
- Sólo hasta el año 2010, se instaló la primera planta de reciclaje de EPS post-consumo en México, por ende no se ha investigado mucho sobre el tema.
- Existe el Inventario de Residuos Sólidos en el DF, sin embargo este no discrimina las diferentes clases de polímeros en categorías independientes.
- La Semarnat, tiene un programa de residuos peligrosos, sin embargo en este no se contempla el EPS.
- No hay un precio de referencia de compra para el EPS post-consumo.
- No existe una institución nacional que se encargue de recopilar los datos acerca del material por su propia cuenta; Inegi reporta datos que otras entidades le proporcionan, más no elabora las suyas, esto como consecuencia de una falencia en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.

#### 2.0. EL ACUERDO INTERNACIONAL SOBRE EL RECICLAJE DE EPS.

Este acuerdo sobre el reciclado del EPS fue firmado por más de 30 países, pertenecientes a una asociación europea fundada en 1989 conocida como “EUMEPS” European Manufacturers of Expanded Polystyrene<sup>22</sup>, -dónde México desafortunadamente no es miembro-, en la cual los países miembros se comprometieron a:

22. (European Manufacturers of Expanded Polystyrene. EUMEPS, 2013)





- Promover el uso del EPS reciclado en la más amplia gama de aplicaciones posibles.
- Trabajar en el desarrollo de modelos internacionales de gestión de los residuos de Poliestireno Expandido.
- Establecer una red de comunicación e intercambio de información sobre el EPS y la correcta gestión de sus residuos en colaboración con los fabricantes de envases y embalajes, productores de materia prima, organismos de la Administración y Asociaciones de Consumidores.<sup>23</sup>

23. (ANAPE, 2013)

## cap. 2

### ¿Qué son los plásticos?



Figura 4. Clasificación de los plásticos, según su polímero. Elaboración propia, tomado de: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia<sup>24</sup>:

24. (Ministerio del Medio Ambiente, 2004)



A continuación se nombrarán los diferentes tipos de “plásticos” y sus aplicaciones.

**Pet (Polietilen Tereftalato) #1:**

Botellas o envases de gaseosas, agua, aceite y vinos; envases farmacéuticos; tejas; películas para el empaque de alimentos; cuerdas, cintas de grabación; alfombras; zuncho; rafia; fibras.

**Polietileno de alta densidad (PEAD) #2:**

Tuberías; embalajes y láminas industriales; tanques, bidones, canastas o cubetas para leche, cerveza, refrescos, transporte de frutas; botellas; recubrimiento de cables; contenedores para transporte; vajillas plásticas; letrinas; cuñetes para pintura; bañeras; cerramientos; juguetes; barreras viales; conos de señalización.

**Cloruro de polivinilo PVC Rígido #3:**

Tuberías y accesorios para sistemas de suministro de agua potable, riego y alcantarillado; ductos, canaletas de drenaje y bajantes; componentes para la construcción, tales como: perfiles y paneles para revestimientos exteriores, ventanas, puertas, plafones y barandas; tejas y tabletas para pisos; partes de electrodomésticos y computadores; vallas publicitarias, tarjetas bancarias y otros elementos de artes gráficas; envases de alimentos, detergentes y lubricantes; empaques tipo blíster.

Existen 2 clases de PVC que a continuación se nombrarán:

**\*PVC-Emulsión:**

Papel decorativo para recubrimientos interiores, cueros sintéticos para muebles y calzado, juguetes.

\*PVC-Flexible Membranas para impermeabilización de suelos o techos, recubrimientos aislantes para cables conductores; empaques y dispositivos de uso hospitalario (como bolsas para almacenar suero o sangre, equipos para venoclisis), mangueras para riego, suelas para calzado.

**Polietileno de baja densidad (PE-BD, PE-LBD) # 4:**

Películas para envolver productos, películas para uso agrícola y de invernadero; láminas adhesivas; botellas y recipientes varios; tuberías de irrigación y mangueras de conducción de agua; bolsas y sacos, tapas, juguetes; revestimientos; contenedores flexibles.

**Polipropileno (PP) #5:**

Película para empaques flexibles para pasabocas, bolsa de resellables, laminaciones, bolsas en general. Rafia, cuerda industrial, fibra textil, zuncho, muebles plásticos, utensilios domésticos, geotextiles, mallas plásticas, carcasas de baterías, vasos desechables, vasos plásticos, empaques para detergentes, tubería, botellas, botellones, juguetería.

**Poliestireno (PS) Espumado, cristal y expandido #6:**

Su principal aplicación es la fabricación de envases y empaques tanto de uso permanente como de un solo uso (desechables). Aplicaciones dirigidas a la industria, como elementos para equipos eléctricos y electrodomésticos; carcasas; gabinetes interiores; contrapuestas de neveras; estuches para casetes de audio y video. Aplicaciones en la industria farmacéutica y accesorios médicos. Juguetería y recipientes de cosméticos. Elementos en la industria de la construcción: encofrados; concretos aligerados: difusores de luz; divisiones de baño; cielorrasos; rejillas arquitectónicas. Industria Automotriz: artículos escolares y de oficina. Elementos decorativos para el hogar; publicidad y promocionales.

Otros. -Policarbonato (PC). -Acrilonitrilo ButadienoEstireno (ABS).- Estireno Acrilonitrilo(SAN).- Poliamida (PA).- Nylon.- Acetatos (POM) #7. Botellones para agua Discos compactos. Carcasas para computadores y equipos de tecnología. Películas. Envases para alimentos.

**2.1 ¿QUÉ SON LOS PLÁSTICOS TERMOPLÁSTICOS?**

*“Los plásticos termoplásticos: son plásticos macromoleculares que constan de cadenas lineales y ramificadas, que mantienen su cohesión mediante fuerzas intermoleculares. Su intensidad depende entre otros, del tipo y número de ramificaciones o cadenas laterales. Se caracterizan principalmente porque como consecuencia del calor se vuelven moldeables. Existen dos clases: los amorfos y los parcialmente cristalinos.*

*Además de los termoplásticos, existen otros grupos de plásticos en los que las moléculas están unidas entre sí como en una retícula (por puentes). Estos enlaces reciben el nombre de plásticos reticulados.*

*Los grupos se diferencian entre sí por el número de puntos de entrecruzamiento y, según esta característica, se clasifican en elastómeros y termofijos. Las moléculas de estos materiales no sólo están unidas mediante enlaces intermoleculares sino, también a través de enlaces covalentes”<sup>25</sup>.*

**2.2 CONSIDERACIÓN EN TORNO AL APROVECHAMIENTO DEL EPS**

El plástico se puede reciclar de muchas maneras convirtiéndose en una gran cantidad de elementos como fibra corta de poliéster y geotextiles con infinidad de aplicaciones industriales como muebles, juguetes, aditamentos para construcción de vías, partes para vehículos, ropa entre muchos otros.

El plástico de acuerdo con sus características de reciclabilidad se puede agrupar en<sup>26</sup>:

25. Ministerio del Medio Ambiente, 2004)

26. (IBID 25)



- plásticos reciclables
- plásticos no reciclables

Siendo el plástico termoestable el más viable para someter a este tipo de procesos. Los principales problemas relacionados con el reciclaje de plásticos son:

- El reciclado puede costar más que uno hecho de materia prima virgen debido a los costos relacionados con la recolección, separación, reproceso y comercialización.
- Cuando un plástico es una mezcla de diferentes clases haciendo difícil su aprovechamiento pues el material no va a tener propiedades uniformes. Por estos motivos, se pueden aprovechar fabricando productos de dimensiones reducidas y pocas prestaciones mecánicas. Una aplicación útil sería haciendo productos promocionales, ya que deben ser económicos y no demandan altas propiedades mecánicas.

#### Aprovechamiento de plásticos reciclables:

- Granulado. Consiste en limpiar, triturar, extruir, y granular los plásticos a ser tratados. El principal problema de este método consiste que los plásticos pierden propiedades, por eso se mezclan con aditivos o resinas vírgenes para mejorar sus características. Este proceso se aplica principalmente en polietileno, polipropileno, poliestireno, PVC, poliamida y ABS.
- Proceso directo. Se alimenta la máquina extrusora sin limpiar o triturar el plástico a ser aprovechado. Con este método no sólo se obtienen gránulos sino también películas, tuberías y perfiles.
- Molienda criogénica. Se utilizan muy bajas temperaturas durante la pulverización del material para evitar que plásticos susceptibles al calor pierdan propiedades, obteniéndose un polvo muy fino. Útil en gran variedad de materiales como plásticos cromados, termofijos, circuitos impresos, telas plásticas, algunos elastómeros y otros de gran valor comercial. Su principal desventaja es la poca difusión y conocimiento del proceso en México.
- Hidrólisis. Se emplean condiciones extremas de temperatura y presión, mediante el cual se pueden aprovechar plásticos como poliamidas, poliésteres, poliuretanos y policarbonatos.

#### Aprovechamiento de plásticos no reciclables.

Estos materiales son difícilmente aprovechables porque su costo supera a la materia prima virgen, o porque se encuentran mezclados con otros compuestos. Los métodos por los cuales se pueden aprovechar son:

- Pirolisis. Se utilizan altas temperaturas y presiones para descomponer los plásticos en productos más simples; su principal desventaja radica en su alto costo.
- Como combustible: Incinerándolos bajo estrictas medidas ambientales y de seguridad, se puede aprovechar el potencial calórico de estos materiales como fuente sustituta de energía.
- Relleno sanitario.

Aunque debería ser la última alternativa para su aprovechamiento en algunos países se usa como barrera para evitar que los lixiviados se infiltren al suelo.

#### 2.3. USOS ACTUALES DEL EPS

##### Aislamiento térmico y acústico para construcciones:

Al usar el EPS en construcciones permite reducir energía por calefacción o aire acondicionado disminuyendo la emisión de gases efecto invernadero.



Figura 5. Láminas de “EPS” como aislante térmico en la construcción.

Fuente: <http://www.google.com.mx/imgres?q=paneles+en+unicel&start=91&um=1&hl=es&client=firefox-a&rls=org.mozilla:es->

En Ciudad de México, según estudios realizados por el Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable (CADIS), al usar placas de poliestireno expandido en viviendas como aislante térmico, se puede reducir hasta en un 75% la cantidad del consumo de electricidad por aire acondicionado y calefactores.



Este mismo centro afirma que una casa de interés social genera alrededor de 923 kg de CO<sub>2</sub> al año por consumo de electricidad al no contar con el EPS como aislante en comparación con 245kg de CO<sub>2</sub> de otra vivienda que si esté provista de aislamiento con paneles de este material<sup>27</sup>.

#### Envases, empaques y embalajes:

Por sus características relacionadas con ligereza, absorción de impactos, el EPS es un material idóneo para fabricar estos medios de protección ya que se adaptan a las especificaciones del cliente.



Figura 6. Embalaje para electrodomésticos. Fuente: [www.eps.co.uk/pdfs/eps\\_and\\_the\\_environment.pdf](http://www.eps.co.uk/pdfs/eps_and_the_environment.pdf)

#### Envases y vasos para alimentos y bebidas:

Pueden estar en contacto directo con alimentos ya que por sus propiedades, el EPS no estimula la aparición de hongos o bacterias contribuyendo con la higiene y la salud; así mismo funciona como aislante térmico lo que le permite ser usado como contenedor de productos fríos o calientes.

Por otra parte en la producción de vasos de EPS se consume por lo menos 20% menos de energía, emite 19% menos gases de efecto invernadero y utiliza 1,000 veces menos agua-oxígeno comparado con la producción de vasos de papel<sup>28</sup>

27. (Grupo Milenio, 2012)

28. (Dart Container Corporation, 2013)



Figura 7. Envases para alimentos. Fuente: propia. Productos fabricados con “EPS” en diferentes tamaños según requerimientos del mercado.

#### Como material para obras civiles y ornamentación arquitectónica:

Geofoam son bloques que se usan para cimentar obras de ingeniería civil, como carreteras, puentes, etc, ya que el EPS tiene alta resistencia a la compresión, minimizando los hundimientos de las construcciones y evitando los costos relacionados con el mantenimiento.



Figura 8. Cimentación para una carretera. Fuente: [www.plastico.com/tp/secciones/TP/ES/MAIN/IN/ARTICULOS/doc\\_84142\\_pnINo4.html?idDocumento=84142](http://www.plastico.com/tp/secciones/TP/ES/MAIN/IN/ARTICULOS/doc_84142_pnINo4.html?idDocumento=84142)



Figura 9. Molduras para interiores. Fuente: propia.  
Láminas para interiores en diferentes calibres.

**Como material para absorber impactos y propósitos de flotación:**

Cascos de protección para motociclistas y ciclistas, debido a su capacidad para absorber impactos son idóneos para fabricar elementos de protección como cascos para motociclistas. Tablas de surf, flotadores y salvavidas: Por su ligereza y capacidad de flotación son ideales para ser usados en estas aplicaciones.



Figura 10. Casco de motociclista. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente de Colombia. El EPS es un excelente absorbente de impactos.

**Como material para diferentes propósitos:**

Moldes para piezas de fundición: El EPS se puede moldear en complicadas formas, haciéndose ideal para obtener una gran cantidad de piezas complejas, como estas réplicas de cabezas humanas.



Figura 11. Cabezas moldeadas en EPS. Fuente: propia. El material se adapta a una gran cantidad de formas y aplicaciones.

Este material también es muy usado en edafología, donde se usa para soportar los tubos con muestras de suelos para estudios edafológicos (análisis que permiten estudiar y clasificar los diferentes tipos de suelos).



Figura 12. Terrarios fabricados con EPS para contener muestras de suelos. Fuente: propia.



Así mismo se puede utilizar para las siguientes aplicaciones:

- Para producción de tierra y aditivos para suelos.
- Para mezclas de sustratos de plantas y vegetales en viveros y jardines.
- Para el cultivo en situaciones difíciles, como por ejemplo en jardines, en azoteas o las siembras de árboles en grandes ciudades.
- Para favorecer la producción de compost usando desechos domésticos y desechos biodegradables.
- Para mejorar el suelo en huertos, viñedos, en jardines y campos deportivos, así como en los campos hípicos.
- Como material filtrante en tuberías de drenaje.
- Como relleno en sistemas de drenaje”.<sup>29</sup>

#### 2.4. ALTERNATIVAS DE MANEJO DEL EPS POST-CONSUMO EN EL MUNDO.

Los productos post-consumo fabricados de EPS se pueden triturar fácilmente para ser usados en otras aplicaciones, especialmente en el área de la construcción. Actualmente, la industria mexicana del plástico ha planteado 5 alternativas para evitar o reducir el impacto ambiental negativo del EPS sobre el ambiente. Estas son<sup>30</sup>:

1. Reducir. El diseño industrial cobra especial importancia en este aspecto, pues permitirá la optimización de los envases y embalajes con el fin de reducir la cantidad de EPS usado.
2. Reusar. Proceso en el que no se transforma el material, sino que los productos hechos con este EPS pueden ser usados varias veces con la misma o diferente función.
3. Reciclar. Proceso mecánico o químico de transformación del EPS convirtiéndose en PS, que le permite ser usado en nuevas aplicaciones.
4. Recuperación energética. Si el EPS se incinera en un ambiente confinado de forma que se contengan las emisiones tóxicas al ambiente, este medio de aprovechamiento resulta adecuado pues el unicel tiene alto poder calórico, superior al del carbón.

29. (Aislantes Industriales de Monterrey. AIMSA, 2012)

30. Clasificación sugerida (IBID 3).

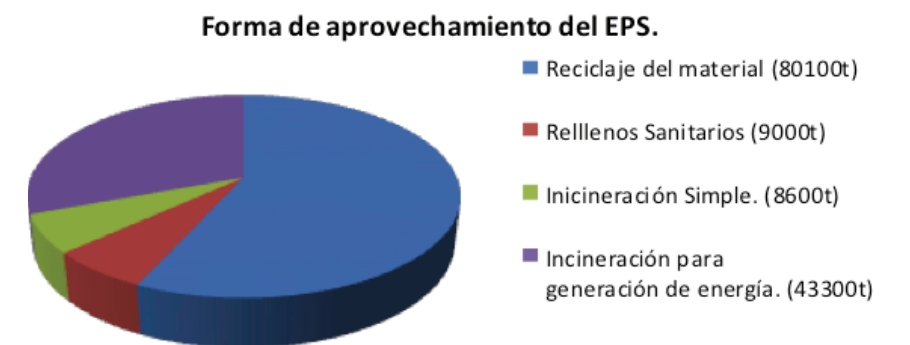
A continuación se mostrará el potencial calórico del EPS comparado con otros materiales:

Material	Energía.
EPS	9600 kcal/kg
Papel	3800 kcal/kg
Madera	4500 kcal/kg

Tabla 6. Potencial calórico del EPS vs otros materiales. Fuente: Jepsa. Elaboración propia.

5. Relleno sanitario. Esta debe ser la última opción para la disposición de este material porque no permite que la energía contenida en los plásticos se pueda recuperar. Además, por su lenta degradación se convierten en un problema porque están ocupando el espacio que otro tipo de residuos podría ocupar.

En Japón, según Jepsa “Japan Expanded Polystyrene Association” por sus siglas en inglés, estimaba que en el año 2009, el país aprovechó la mayor parte de su EPS post-consumo de la siguiente forma, situación que lo convierte en uno de los países líderes en el tema:



Total acopiado en 2009: 141.000 (t)

Tabla 7. Forma de aprovechamiento del EPS. Fuente: Jepsa. Elaboración propia. Se puede apreciar que el reciclaje del material es la forma más común de aprovechamiento del material post-consumo.



## 2.5. TRATAMIENTO DEL MATERIAL POST-CONSUMO EN MÉXICO.

El aprovechamiento actual del EPS post-consumo es poco comparado con otros plásticos. Esto, sumado a la informalidad del mercado, hace que no se tengan estadísticas relevantes sobre el tema.

Hasta el momento, ni en el DF ni en el Estado de México existe una cadena de acopio bien establecida con diversos puntos de acopio e información para el material, algunos se encuentran ubicados en centros educativos y oficinas de gobierno; sin embargo el más grande está ubicado en Atlacomulco, -propiedad de Dart Container Group-, dónde así mismo se encuentra la única planta de reciclaje para el material del país.

En el momento, la facultad de ingeniería de la UNAM y las oficinas de gobierno del DF, acopian el material y la empresa envía un camión para recogerlo; sin embargo por no contar aún con más sitios de recolección en la ciudad, su reciclaje se limita a estas entidades. Por el momento se vienen adelantando conversaciones con gobiernos de otros estados para instalar centros de acopio en estos lugares.

### 2.5.1 Caso Dart

Actualmente “DART” de México, S. de R.L. de C.V, es la única empresa en el país que además de fabricar productos de EPS, también cuenta con una planta densificación (extracción de aire) para el material post-consumo.

Se encuentra ubicada en Atlacomulco, Estado de México, dónde no solamente se fabrican desechables de EPS para el mercado nacional (vasos, tapas y charolas), sino también se reciclan, los imperfectos de su producción y los productos usados post-consumo, provenientes de las oficinas del gobierno del DF y del mismo pueblo.

Si bien la planta de reaprovechamiento de Dart empezó a funcionar hace casi 2 años, su contribución al ambiente ha sido notable pues se han recuperado cerca de 280t desde junio de 2010 a junio de 2011; dichas cifras evidencian que el reciclaje del EPS, aunque es una actividad incipiente, aún demanda gran esfuerzo y trabajo para consolidar esta planta y otras más en México.

Es importante aclarar que en dicha planta, sólo se densifica el material; pues el material obtenido se envía a USA donde se vuelve a procesar transformándose en otros productos.

A continuación se especificará cómo es el proceso de densificación en Dart, única empresa que lo realiza en México.

## ¿Cómo es el proceso de tratamiento?

1. **Acopio del material.** Se realiza directamente en Atlacomulco que cuenta con un centro de acopio en sus instalaciones disponible para recibir EPS las 24 horas, 7 días a la semana.

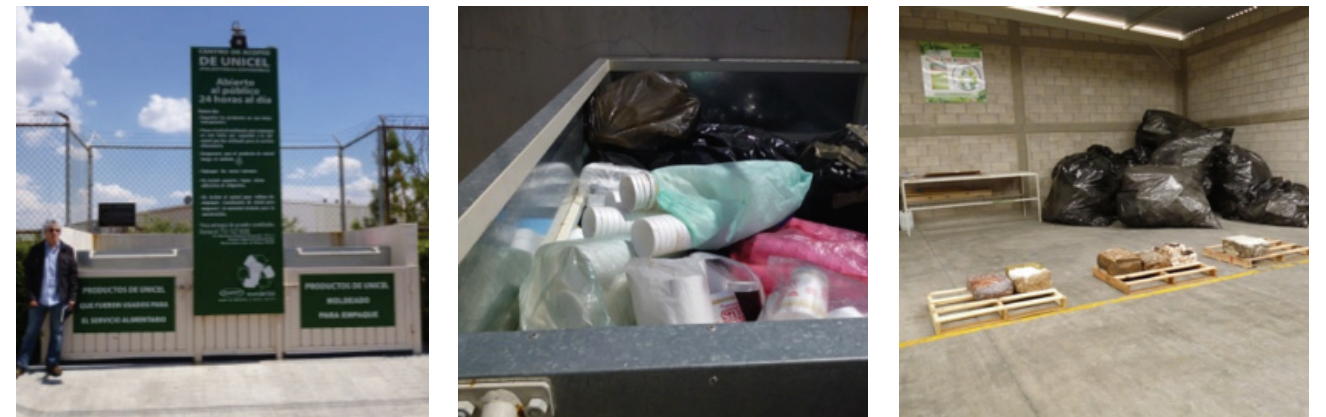


Figura 13. Centro de acopio y bodega de almacenaje del EPS post-consumo de “Dart”, Atlacomulco, edo de Mex. Fuente: propia.

- **Consideraciones en torno al acopio:**
  - Se recomienda limpiar el EPS de residuos y otros materiales, por ejemplo las charolas de comida retirarles con la misma servilleta usada los restos de alimentos. Se debe retirar popotes y tapas de vasos que no estén hechos de EPS.
  - Preferiblemente acopiar el material en bolsas transparentes con el fin de identificar su contenido.
  - Apilar la mayor cantidad de productos para reducir su volumen, por ejemplo vasos y charolas.
  - Clasificar el tipo de residuos de EPS según su utilización en:
    - > Comida,
    - > Transporte, embalaje y construcción.
- 2. **Limpieza del material.** Se realiza usando una máquina que permite limpiar el material antes de ser reciclado a través de una solución detergente que elimina los restos de comida de los vasos y charolas antes de ser procesados.



Figura 14. Máquinas usadas para la limpieza del material antes de su tratamiento, "Dart", Atlacomulco, edo de Mex. Fuente: propia.

3. **Alimentación máquina de procesamiento.** La máquina con la que dispone Dart se encarga de moler el material, calentarlo y usando presión para extraer el aire del EPS creando una pasta continua.

**Consideración para alimentar la máquina de procesamiento:**

- La procedencia de los productos hechos con EPS (alimentos, embalaje, construcción, decoración ,etc),
- Discriminar entre vasos con serigrafía de los que no.

**Sub-etapas alimentación máquina de procesamiento.**

- a) Alimentar la máquina con material.



Figura 15. Alimentar la máquina según el material a tratar (discriminación entre productos serigrafiados ó vasos, charolas, etc). "Dart", Atlacomulco, edo de Mex. Fuente: propia.

- b) **Moler el material:** Es el primer proceso mecánico para reducir el volumen del material, a una proporción de 40:1 o 50:1.



Figura 16. Máquina de redimensionamiento. "Dart", Atlacomulco, edo de Mex. Fuente: propia. Por medio de diversas cuchillas, la máquina transforma los productos de EPS en piezas más pequeñas, para su posterior aprovechamiento.

- c) Por medio de calor se forma una pasta continua de PS, este es el segundo proceso térmico para reducir el volumen del material, a una proporción de 90:1 o 95:1. Usando temperatura se disuelve la estructura del material.



Figura 17. Máquina densificadora (extrae el aire de cada pieza de EPS). "Dart" Atlacomulco, edo de Mex. Fuente: propia. Por medio de un tornillo sinfín el material es movido y sale uniformemente, convertido en una colada continua de PS



**Consideración para seleccionar la temperatura adecuada:**

La temperatura es seleccionada de acuerdo con la densidad del material; por ejemplo para los desechables es 220°C y para placas de construcción o empaques es de 250° a 270°C, -para ambos casos el tiempo de exposición al calor oscila entre 1 a 2 minutos-. El calentamiento del material se debe realizar utilizando resistencias, pero nunca llama directa pues quemaría al material.

- d) Por presión (100 PSI) se forman bloques de PS con un peso de 20kg que luego son llevadas a otra empresa donde son pelletizadas para ser inyectadas nuevamente.



**Figura 18.** Pistón neumático. “Dart” Atlacomulco, edo de Mex. Fuente: propia. Por medio de un pistón neumático se compacta el material densificado formando los bloques de PS.



**Figura 19.** Piezas de 20kg aproximadamente de PS. “Dart” Atlacomulco, edo de Mex. Fuente: propia. Bloques que pueden ser pelletizados según requerimientos del cliente.

4. **Empaque de los bloques de PS reciclado post-consumo.** Serán transportados y usados por otra empresa llamada Nepco; hasta este punto es el proceso de aprovechamiento que se realiza en Dart Atlacomulco.



**Figura 20.** Estibas de PS. “Dart” Atlacomulco, edo de Mex. Fuente: propia. Serán llevadas a la siguiente etapa del proceso de aprovechamiento.

El dinero invertido para la infraestructura de la planta de reciclaje mostrada anteriormente ascendió a 625.000MXN, incluyendo 280.000 MXN de la máquina de molienda-densificadora.

**2.5.2. Caso Utilcel®**

Por medio de una resina líquida formulada a base de reciclado de unicele de desecho y estireno. Es ideal como recubrimiento para proteger contra la humedad, aplicado en madera, cartón papel, cerámica, asbesto, recubrir metal oxidado, barro, concretos aplanados y otros materiales porosos ya que crea una película porosa que impermeabiliza contra la humedad de acabado brillante<sup>31</sup>. Esta misma empresa maneja otro producto con características similares que es llamado Utilcel, es una pintura para albercas de alta resistencia compuesta por una resina epóxica de Poliestireno Reciclado, pigmentos, aditivos y solventes. También contiene una poliamida que actúa como un agente endurecedor.

La facultad de Química de la UNAM desarrolló a partir del EPS y cristal, un recubrimiento de bajo costo que sirve como pegamento para papel, cartón y madera por medio de un disolvente soluble en agua, el cual se obtiene a través de un proceso de precipitación por difusión-disolución<sup>32</sup> y que permite recuperar las partículas, así como el solvente, para que se pueda volver a utilizar.

31. (Proyectos Integrales Ecológicos, S.A. de C.V, 2012)

32. (IBID 24)



### 2.5.3 Caso Universidad Veracruzana.

Es utilizado como sustituto de la grava debido a que el EPS, al tener gran dureza, ser ligero y poco absorbente de agua, puede utilizarse en paneles prefabricados.

Así mismo se está estudiando la posibilidad de utilizarlo como aditivo para la preparación de concreto, ya que puede mezclarse con el agua haciéndolo ideal porque tiene un coeficiente de porosidad mucho menor.<sup>33</sup>

### 2.6. EMPRESAS EN EL MUNDO QUE SE ENCARGAN DE RECICLAR EL MATERIAL.

A continuación se mencionarán las principales empresas que reciclan el material en el mundo en sus diferentes presentaciones comerciales:

Empresa	Sitio web	Productos.
Enviro (GY) Ltd	www.enviroltd.co.uk	Compactación local de cajas de pescado.
Fishgate	www.fishgate.co.uk	Compactación local de cajas de pescado
CK Polymers	www.ckpolymers.co.uk	Reciclaje de plásticos.
Mammen	www.harm-mammen.dk	Reciclaje de desperdicios plásticos.
euro.recycle.net	euro.recycle.net	Asociación de recicladores de compuestos plásticos de Europa.

Tabla 7. Principales empresas en el mundo que se dedican al reciclaje del EPS. Fuente: EPS Group. Elaboración propia.<sup>34</sup>

#### 2.6.1. Centros de investigación sobre el aprovechamiento del EPS

Centro de Investigación.	Sitio web	Propósito.
Wales Environmental Trust	www.walesenvtrust.org.uk	Formas de compactar el EPS
Brunel University	www.brunel.ac.uk	Buscar colaboradores en el sector de productos de mar.

Tabla 8. Centros de Investigación en el mundo sobre el reciclaje de EPS. Fuente: EPS Group. Elaboración propia.<sup>35</sup>

### 2.7. ESTUDIOS SOBRE IMPACTO AMBIENTAL DEL EPS.

33. (Crónica del Poder., 2012)

34. (EPS. Economy Performance Group., 2012)

35. (IBID 39)

#### 2.7.1. Caso México

En México la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ) y la Comisión de la Industria del Plástico (CIPRES) solicitaron un estudio al Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable (CADIS) con el fin de comparar la huella de carbono del consumo eléctrico para mantener una temperatura de confort en una vivienda de interés social equipada con placas aislantes de EPS vs una vivienda sin estos productos; dicho estudio se realizó por toda la república mexicana tomando diferentes climas y pisos térmicos, por ejemplo Monterrey y Coatzacoalcos, Puebla y Toluca.

A continuación se enunciará las conclusiones del estudio realizado:

*“El CADIS a través de un estricto apego al seguimiento de la Norma NMX-SAA-14040-IMNC-2008, analizó dos diferentes sistemas: una casa habitación sin el uso de placas aislantes de EPS y una casa habitación con el uso de placas aislantes de EPS. En este último la medición consideró tanto el consumo eléctrico como el ciclo de vida de la elaboración de las placas (extracción de materias primas, transporte y producción), encontrando que el consumo energético y por ende la Huella de Carbono, en una casa habitación con placas, se reduce hasta en un 75% promedio en los diferentes tipos de climas analizados y considerando los cambios estacionales en ellos.*

*El estudio reveló que con el ahorro en el consumo eléctrico generado por 433 hogares que utilicen las placas, se podría abastecer de alumbrado público al Zócalo de la Ciudad de México durante un año. Los resultados del estudio también denotan que, el ahorro en el consumo eléctrico de una vivienda con placas de EPS, equivale al 56% al compararlo con el consumo de una vivienda promedio.*

*El resultado de este estudio, es un gran aporte a la sustentabilidad en el sector de vivienda con el que contribuyó ANIQ- CIPRES y CADIS, al evaluar la utilización de placas de Poliestireno Expandido (EPS), en techos y muros para el aislamiento térmico de viviendas en México.”<sup>36</sup>*

#### 2.7.2. Caso Europa

La “EUMEPS” -European Manufacturers of Expanded Polystyrene- , solicitó un “ACV”- Análisis de Ciclo de vida- a una consultora independiente conocida como Pricewaterhouse Coopers Ecobilan de un embalaje para un televisor; fabricado con EPS. Los objetivos de dicho estudio eran identificar las fuentes de impacto ambiental relacionado con el uso de embalajes fabricados con este material y medir las mejoras conseguidas mediante el reciclaje del mismo.

Las condiciones del estudio fueron:

- Año de estudio: 2011.
- Número de fabricantes industriales de EPS: 15 pertenecientes a 10 países europeos.
- Tamaño pantalla: 25 pulg.
- Estudio realizado bajo la norma ISO 14040 – 14043.

36. (Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable, 2012)



### Embalaje promedio de una pantalla para este tamaño caracterizado por:

- Embalaje de EPS= 0,7 Kg.
- Caja de cartón (2,8 Kg.)
- Espuma de Polietileno (PE) (0,1 Kg.)
- Peso del aproximado del embalaje = 3,6 Kg.
- Peso promedio de la pantalla= de 27,6 Kg.

Las conclusiones del estudio anterior fueron:

#### Escenario 1. Sin reciclaje:

*“Para el embalaje de EPS en sí mismo, las etapas principales, en cuanto a impacto ambiental se refiere, se limitan a las etapas de producción de poliestireno expandible virgen y la etapa de transformación. Respecto al consumo de recursos, la energía primaria se gasta mayormente en la producción de EPS virgen, mientras que el agua se usa primordialmente en la etapa de transformación.*

- *La mayoría de las emisiones gaseosas se deben a la producción de EPS a partir de material virgen, mientras que la formación de oxidantes fotoquímicos se debe específicamente a la etapa de transformación.*
- *Los resultados del ACV demuestran claramente que el EPS no reviste importancia en el deterioro de la capa de ozono.*
- *Los impactos provenientes del transporte del embalaje de EPS son mínimos (las distancias de transporte necesariamente son pequeñas debido a la baja densidad de este material que implica cercanía del suministrador). Debe reseñarse también que el estudio solo recoge los impactos del embalaje y que la consideración de los impactos del transporte de la televisión originarían un 20% de aumento en el consumo de energía primaria, un 74% de aumento de acidificación del agua y un 38% de aumento en el impacto del efecto invernadero.*
- *En lo que respecta al embalaje total de la televisión (incluyendo el cartón y la espuma de PE), el cartón presenta una significativa contribución a los impactos ambientales. Este material, a pesar de su contenido en fibra reciclada, es responsable de un 94% del total de la eutroficación del agua, 74% de la producción global de residuos, 51% del consumo de agua y 47% del consumo de energía primaria.*
- *Cuando se considera una tasa de reciclado de EPS del 35%, el impacto relativo del cartón aumenta”*

#### Escenario 2, reciclando el embalaje post-consumo de EPS.

- Reducción del 20% de peso de EPS en origen mediante mejora del diseño del embalaje, reduciendo los impactos ambientales entre un 10 y un 20%.
- Una tasa de reciclado de EPS del 35% reduce los impactos ambientales del embalaje total de la pantalla entre un 10 y un 20% para la mayoría de los indicadores y un 30% para la formación de oxidantes fotoquímicos.
- Si se apuesta por la recuperación energética en lugar del vertido (incluso sin reciclado), se reducen la mayoría de los impactos entre un 15 y un 30%..

### Conclusiones

- Este estudio ACV cumple los dos objetivos inicialmente planteados, permitiendo a la industria europea del envase y embalaje de EPS confirmar los parámetros medioambientales; donde la mejora de la actual situación (25% de reciclado) tendría mayor efecto.
- El EPS sigue siendo la mejor solución protectora para el envasado y embalado de mercancías valiosas.<sup>37</sup>

37. (El País., 2013)



# cap. 3

## Diagnostico del consumo para el EPS

Un modelo se puede entender como: “una abstracción teórica del mundo real que tiene dos utilidades fundamentales”:

Reducir la complejidad, permitiéndonos ver las características importantes que están detrás de un proceso, ignorando detalles de menor importancia que harían el análisis innecesariamente laborioso; es decir, permitiéndonos ver el bosque a pesar del detalle de los árboles.

Hacer predicciones concretas, que se puedan falsar mediante experimentos u observaciones. De esta forma, los modelos dirigen los estudios empíricos en una u otra dirección, al sugerir que información es más importante conseguir”.<sup>38</sup>

En especial un modelo tiene mucha importancia para entender y explicar la compleja problemática que involucran los residuos sólidos en el DF, donde al día se generan más de 13000 (t) de desperdicios en una ciudad carente de:

- La infraestructura adecuada para manejar la enorme cantidad de residuos que se generan.
- La conciencia de las personas para disponer de ellos adecuadamente.
- Una política de gobierno clara referente a la gestión de los mismos.
- Leyes que promuevan el reciclaje o penalicen la falta del mismo.

38. (Universidad Autónoma de Madrid. , 2013.)

A continuación se hará un diagnóstico más en profundidad de la problemática de residuos sólido de la ciudad.

### 3.1 FACTORES INVOLUCRADOS EN LA PROBLEMÁTICA DEL EPS.

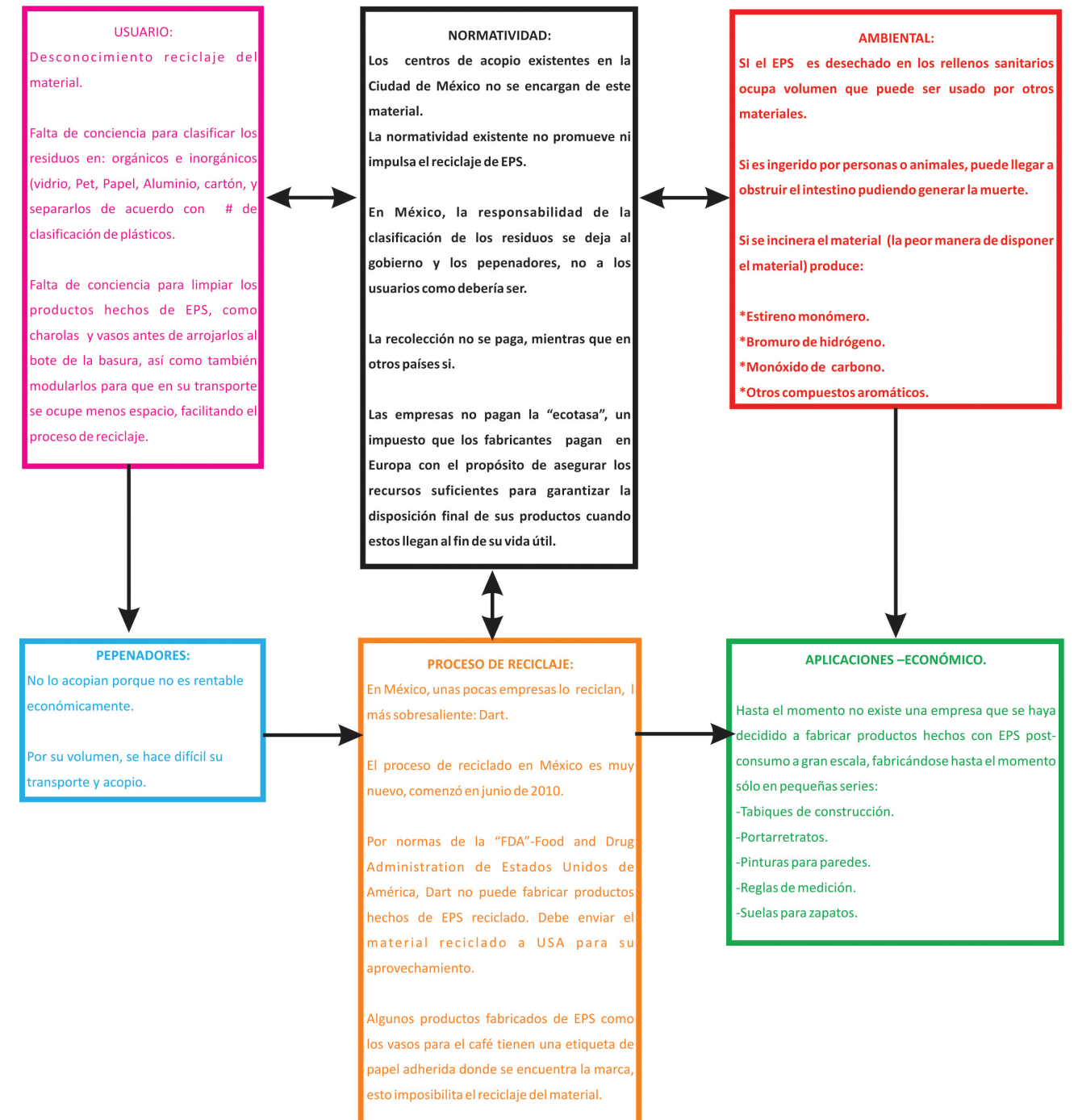


Figura 21. Factores involucrados en la problemática del EPS. Fuente: propia. Se evidencian 6 actores diferentes implicados en dicha actividad.



La tabla anterior nos permite inferir que:

**En la sociedad,** por la falta de conocimiento en el tema, las siguientes situaciones se presentan:

- La gran mayoría de las personas no saben que el EPS es 100% reciclable.
- Se dispone inadecuadamente en sitios naturales como: cañadas, cuerpos de agua, en el suelo entre otros, situación que afecta enormemente el ambiente natural.
- No se limpia para retirarle contaminantes como comida, los cuales dificultan el aprovechamiento post-consumo.

**En la manufactura:**

- Empresas especialmente de bebidas dificultan el aprovechamiento del material al no contar con estrategias como ecodiseño donde se contemple todo el ciclo de vida del material.

**En el acopio:** Al no existir responsabilidades por parte de las empresas manufactureras.

- Por no existir centros de acopio masificados e identificados para el EPS post-consumo, -actualmente sólo existe uno en Atlacomulco, estado de México de la empresa Dart-, su acopio se dificulta, situación que propicia que una pequeña parte del material se recupere.

**En el reciclaje y/o aprovechamiento post-consumo:**

Falta de estrategias que propicien dichos procesos.

- En el año 2010, se instaló la primera planta de reciclaje de EPS post-consumo en México, por ende no se ha investigado mucho sobre el tema.
- Hasta el momento el EPS post-consumo no ha despertado el interés suficiente en el gobierno, sociedad y empresas para analizar su impacto en el ambiente, situación que propicia que la información con la que se cuenta sea poca.

### 3.2 GENERACIÓN DE UN MERCADO PARA EL EPS POSTCONSUMO

1. **Aplicaciones -económico:** Se deben buscar o desarrollar mercados para el EPS post-consumo. Se necesita convencer a los usuarios finales que usen productos hechos con materiales reciclados, explicándoles que estos no son de mala calidad porque sean fabricados con materiales ya procesados.

1.1 Buscar compradores para el material reciclado con el fin de establecer relaciones comerciales que permitan identificar tarifas, demanda, oferta y aplicaciones del material.

1.2 Convencer a la industria para que aprovechen en sus procesos de producción al EPS post-consumo. Puede pasar que algunas empresas sean renuentes a usar material proveniente del reciclado porque esto implica cambios en su esquema de producción, cambió de proveedores de materia prima, y la idea es, que al usar productos hechos de material reciclado la calidad no será la misma y su status y buen nombre decaigan. Sin embargo el usar productos reciclados puede ser beneficioso por dos motivos: reducción de costo, reducción de residuos por EPS, un mejor aprovechamiento de recursos lo que repercute en un menor impacto ambiental.

1.3 Las grandes empresas fabricantes como Dart y Convermex, deberían impulsar el reciclaje de sus productos a través de un acompañamiento a las comunidades, donde se les explique beneficios de esta práctica. Actualmente Dart cuenta con un programa de reciclaje (con las oficinas del Distrito Federal) quienes se encargan de recoger el material y la empresa se encarga de su disposición final.

1.4 Hacer convenios con empresas que generen grandes cantidades de EPS, para acopiar su material de desecho en una sola exhibición, reduciendo costos por transporte.

2. **Pepenadores:** Es importante persuadir a pepenadores con el fin que acopien este material ofreciéndoles diferentes estímulos. (económicos, recreativos, bonos de despensa entre otros). Se plantea la necesidad de diseñar una maquina portátil de densificación del material y bajo costo para que los pepenadores lo hagan en situ, o en los mismos camiones de recolección de “basura”.

3. **Normatividad:** leyes que propicien el reciclaje del material, centros de acopio, apoyo en especie o disminución de impuestos. Verificar la existencia de centros de acopio del EPS (en una primera etapa en el DF),- si es así examinar si cumplen con las condiciones idóneas para acopiar el material en términos de seguridad y mitigación de impacto-; por el contrario si no existen centros de acopio, proceder a investigar la factibilidad de su instalación.



- 3.1 Propiciar acercamientos con la Semarnat (especialmente) con el fin de persuadirlos para que promulguen leyes para considerar al EPS como un material de manejo especial (disposición, selección, y reciclaje) diferente al resto de los plásticos.
- 3.2 Normatividad referente al manejo del material (especificaciones de impresión, layers, etiquetas, tintas, que faciliten el reciclaje).
- 3.3 Fondo de compensación integrado por los fabricantes de productos hechos con EPS, de manera que destinen un % para financiar proyectos de disposición adecuada de estos productos cuando su vida útil termine, los cuales incluyan: acopio, clasificación, educación de la sociedad y re-valorización (reciclaje entre otros usos). En Europa se le conoce como “ecotasa”.
- 3.4. Si se lograra convencer a una gran empresa que usara el EPS post-consumo en sus productos, sería un buen precedente para que otras compañías la imitaran favoreciendo el aprovechamiento del material.
- 3.5. Buscar apoyo en entidades gubernamentales para que ayuden en la difusión de programas de aprovechamiento del EPS –post-consumo, subsidio económico, rebaja de impuestos y la creación de una legislación que promueva el aprovechamiento de este material.
4. **Proceso de reciclaje:** Convertir el “EPS” en “PS” para fabricar otros productos a partir del material reciclado, aumentando el ciclo de vida del material. Estudio de factibilidad de reciclaje: físico, mecánico o químico.
  - 4.1 Apropiación de tecnología foránea, así como de casos de éxito en el mundo.
  - 4.2 Uso y mejoramiento de la tecnología para el reciclaje del EPS, ya que esta es relativamente económica, sencilla y de poca complejidad.
5. **Ambiental:** Evidenciar el problema para los ecosistemas que genera el EPS cuando es dispuesto en rellenos sanitarios o al aire libre a través de campañas informativas.
6. **Usuario:** Repartir contenedores para el acopio en escuelas, universidades, colonias, centros deportivos y culturales y otros lugares de gran afluencia de personas, de manera que el recinto con mayor cantidad de EPS acopiado gane estímulos (programa recompensas)

- 6.1 En centros comerciales y tiendas de servicio: las personas que recolecten x kg de EPS tendrán una compensación: maceta, árbol, bolsa de compras etc.
- 6.2 Concientizar al usuario de 2 aspectos fundamentales: la posibilidad de reciclaje del material y su limpieza post-consumo pues facilita el proceso de aprovechamiento del material.

### 3.3. MODELO ACTUAL DE CONSUMO Y DESECHO PARA EL EPS EN EL D.F.

En una primera etapa las perlas de estireno así como el agente expansivo, usualmente pentano entran como insumos para la fabricación del poliestireno expandido, mismo material que se convertirá en un insumo para fabricar diferentes productos, charolas, vasos, contenedores, insumos para construcción entre otros productos.

Posteriormente estos productos serán consumidos por el mercado doméstico e industrial: hogares, empresas, centros educativos, constructoras, tiendas de conveniencia, oficinas privadas y públicas, y en general todos aquellos lugares donde productos hechos con este material se puedan usar.

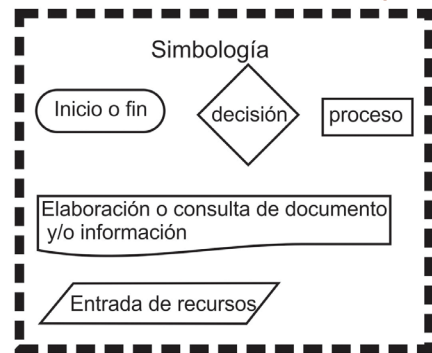
Luego, el EPS puede ser o no acopiado. Si no llega a ser recolectado terminará su ciclo de vida mal dispuesto en el entorno natural como en cañadas, cuerpos de agua, barrancas, andenes, banquetas que terminarán alterando el ambiente natural pues en promedio este material tarda cerca de 400 años en degradarse; por el contrario, si el “poliestireno expandido - EPS” se acopia, se usarán camiones recolectores de basura pertenecientes a cada una de las 16 delegaciones del DF, posteriormente los residuos son llevados a un centro de transferencia, donde allí después de ser seleccionados en aprovechables y no aprovechables, el EPS será llevado al sitio de destino final (relleno sanitario) por ser considerado sin valor comercial y no factible de reciclar.

Aunque la incineración de este material no se debería realizar en el país debido a la falta de infraestructura adecuada para depurar las toxinas que se generan en este proceso, es una práctica no convencional que sin embargo debe ser considerada en el presente modelo.



### Modelo de consumo actual del EPS para el DF.

Es un modelo lineal dónde no existe un aprovechamiento postconsumo, gerándose residuos.



# cap. 4

## Modelo teórico propuesto para el aprovechamiento del EPS postconsumo

### 4.1. METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR EL MODELO

Si bien existen números métodos de diseño, desde los más antiguos planteados por Christopher Jones, Asimow y Archer hasta los más recientes como los de Ideo y Honda; un método se podría entender como una serie de pasos con un orden específico que permiten guiar al diseñador a través de su proceso creativo y de generación de respuestas de diseño contemplando factores como problemática, usuario, contexto, recursos, tecnología entre otros con la finalidad de orientarle para que pueda desarrollar su proyecto en una forma lógica.

Es así, como se plantea un **proceso de diseño** (método de diseño) enfocado hacia el aprovechamiento del EPS post-consumo; mismo que fue evaluado por los siguientes diseñadores industriales. Sus opiniones, sugerencias y comentarios hicieron posible el enriquecimiento de mismo. Muchas gracias a ella y ellos por su valiosa colaboración.

Figura 22. Modelo de consumo actual del EPS para el DF.  
Fuente: propia. Actividad donde no existe un aprovechamiento postconsumo presentándose “desperdicios”.



**D.I. Daniela Vélez**

Licenciada en diseño industrial del CIDI- UNAM. Actualmente trabaja en el sector de plásticos desarrollando productos. 2 años de experiencia profesional.

**D.I. Fernando Pérez**

Licenciado en diseño industrial y antropología. Actualmente se encuentra estudiando una maestría en Lumiere Lyon (Francia). Su experiencia profesional (5 años) radica desarrollo e investigación en historia del arte.



Los anteriores diseñadores industriales se seleccionaron porque sus perfiles profesionales son diversos, enriqueciendo aún más el proceso de diseño al contar con sus sugerencias:

- áreas de experiencia profesional diferentes.
- cantidad de años de experiencia profesional.
- estudios universitarios en diferentes universidades
- estudios en el extranjero.
- estudios en diferentes países.



**MDI. Iroel Heredia.**

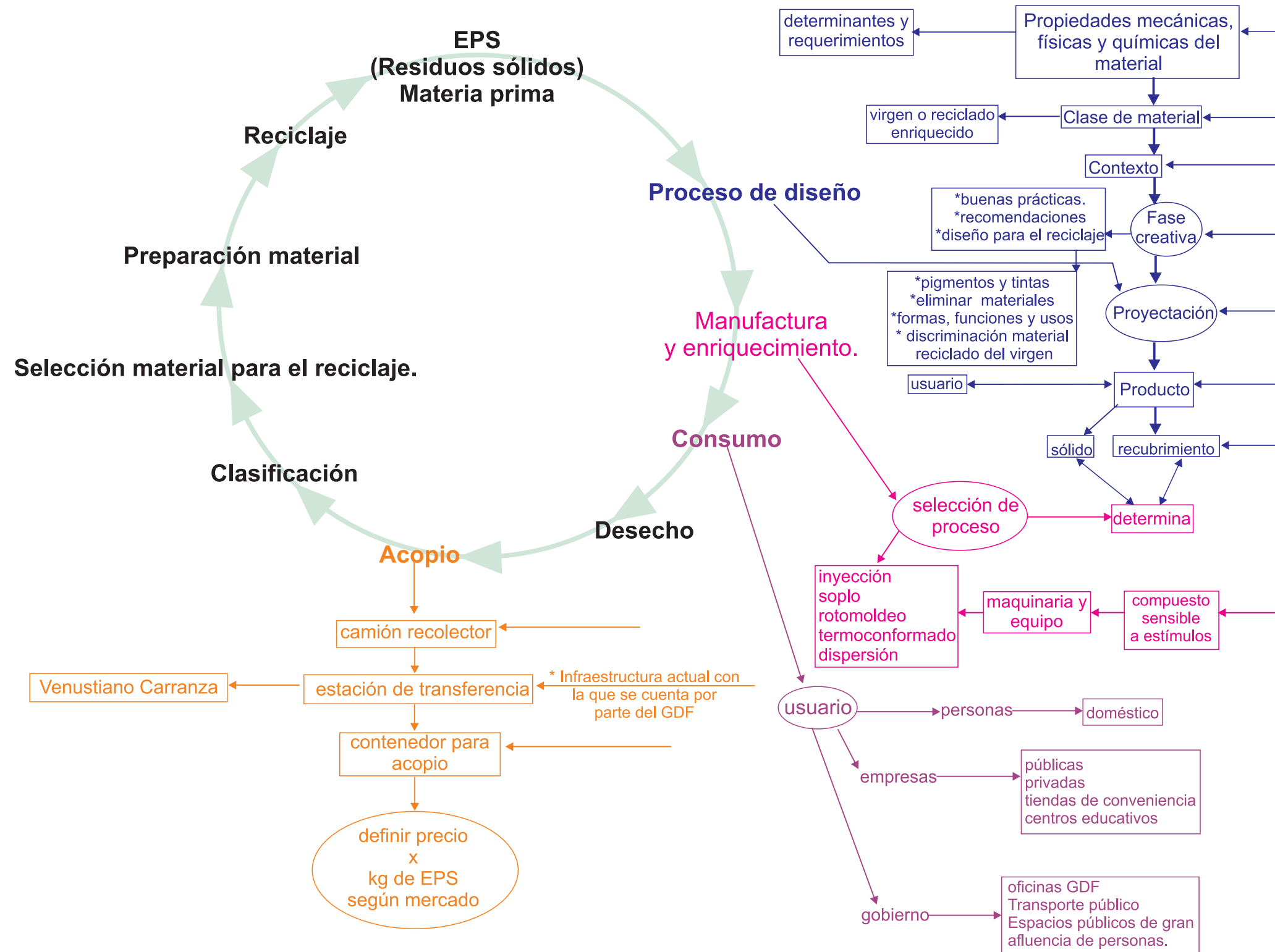
Maestro diseño industrial por la UNAM. Su experiencia profesional (4 años) radica en diseño y desarrollo de producto – joyería-





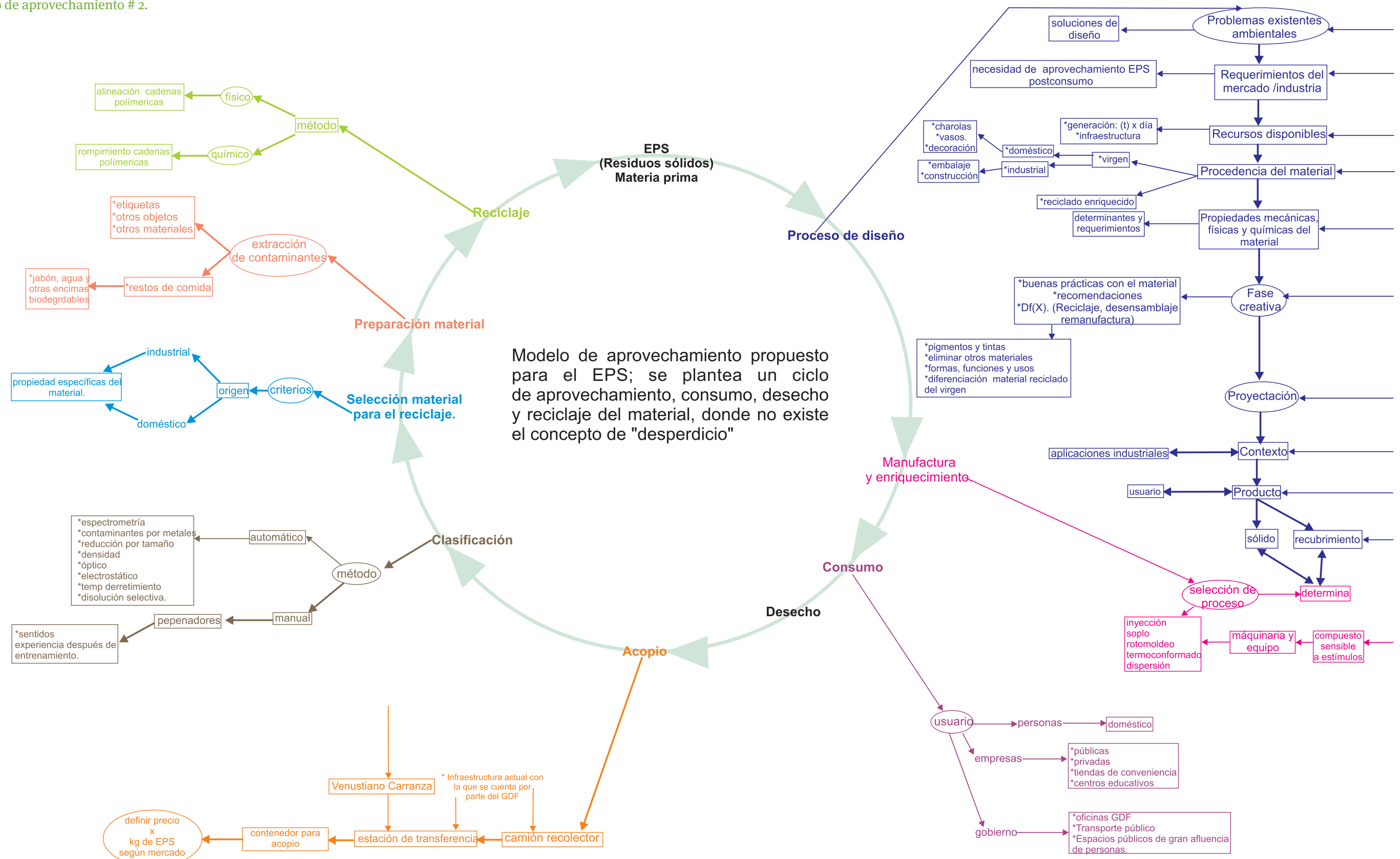
### 4.2. EVOLUCIÓN MODELOS PROPUESTOS.

#### Alternativa modelo de aprovechamiento # 1



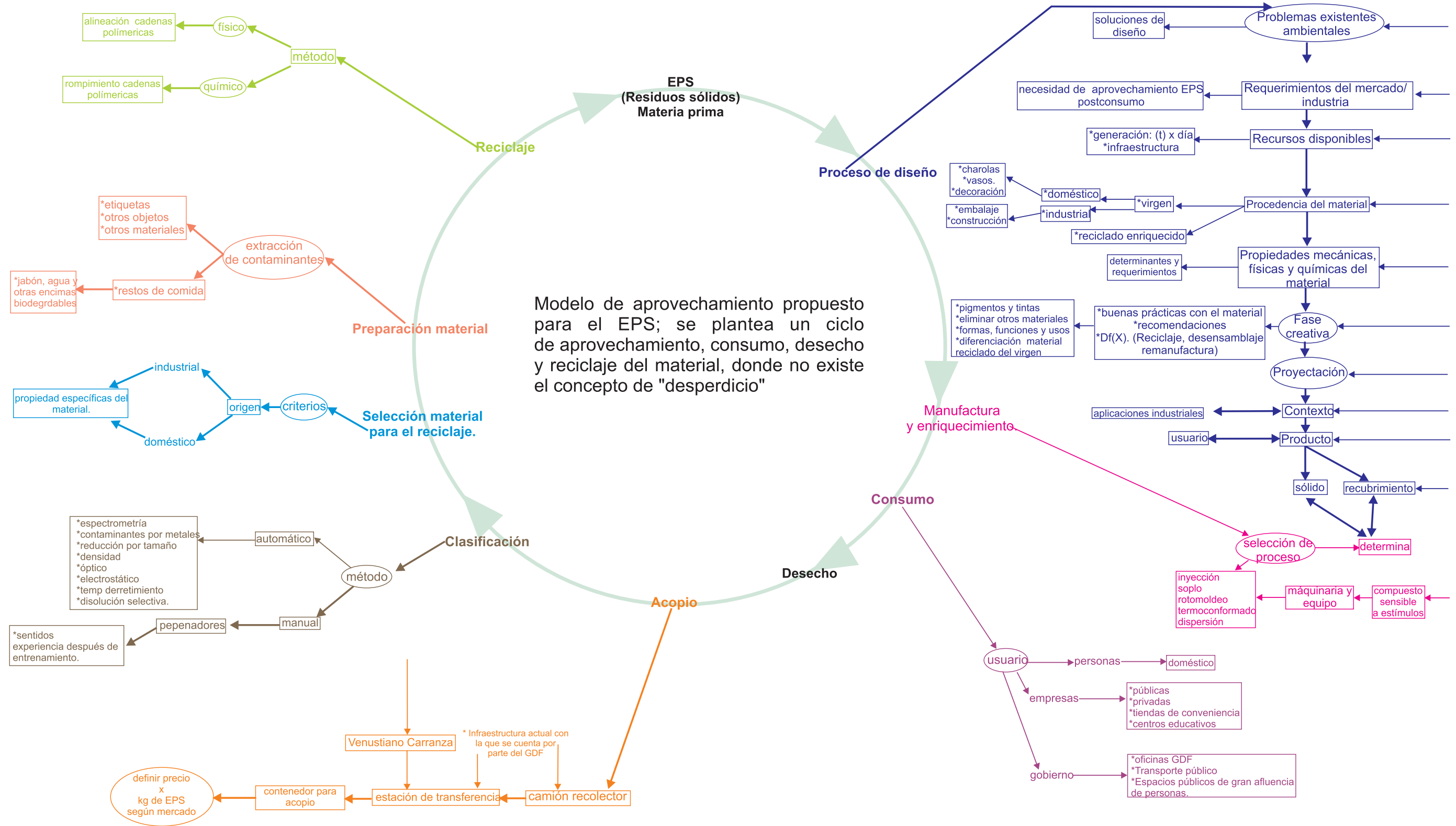


Alternativa modelo de aprovechamiento # 2.



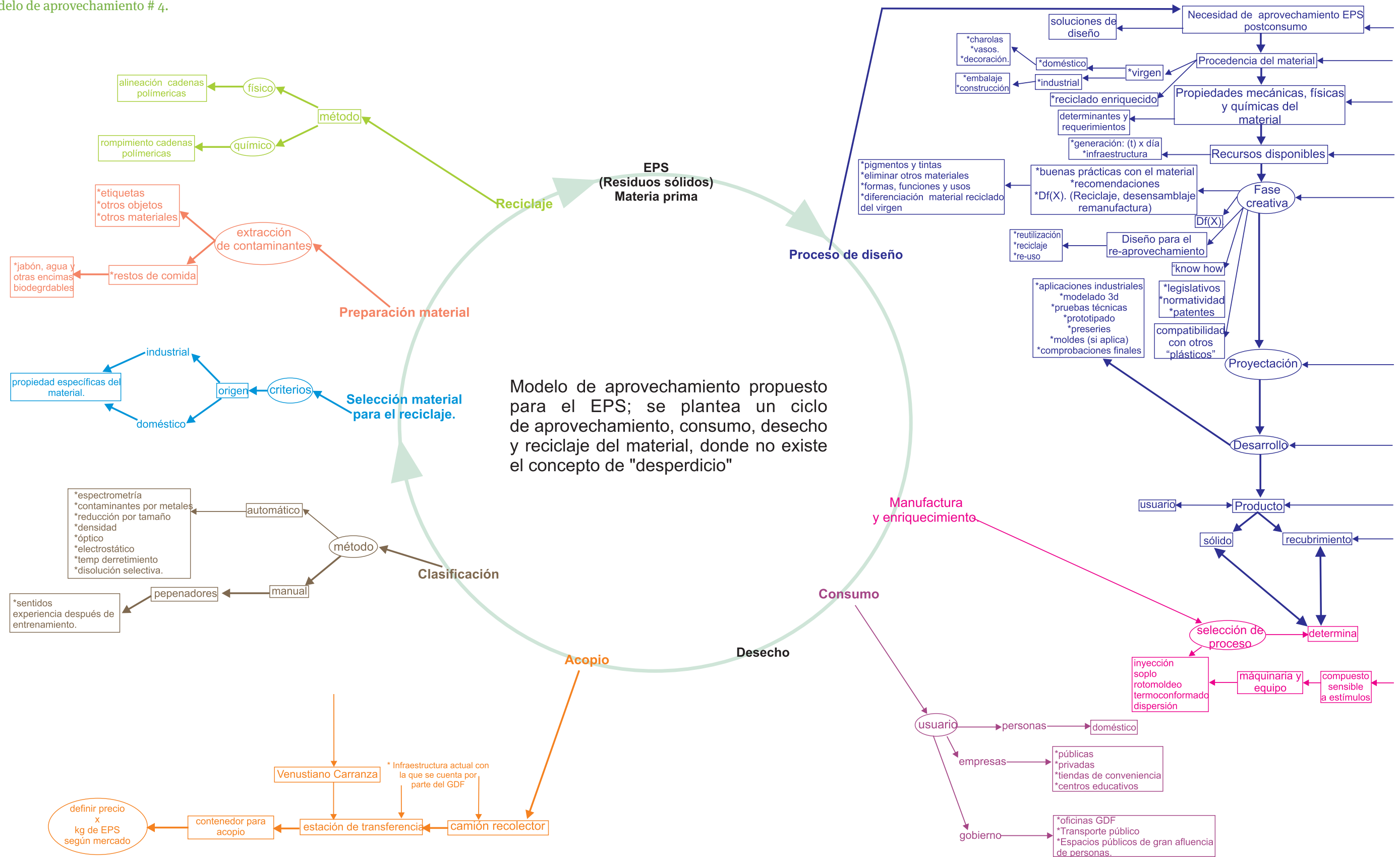


Alternativa modelo de aprovechamiento # 3.



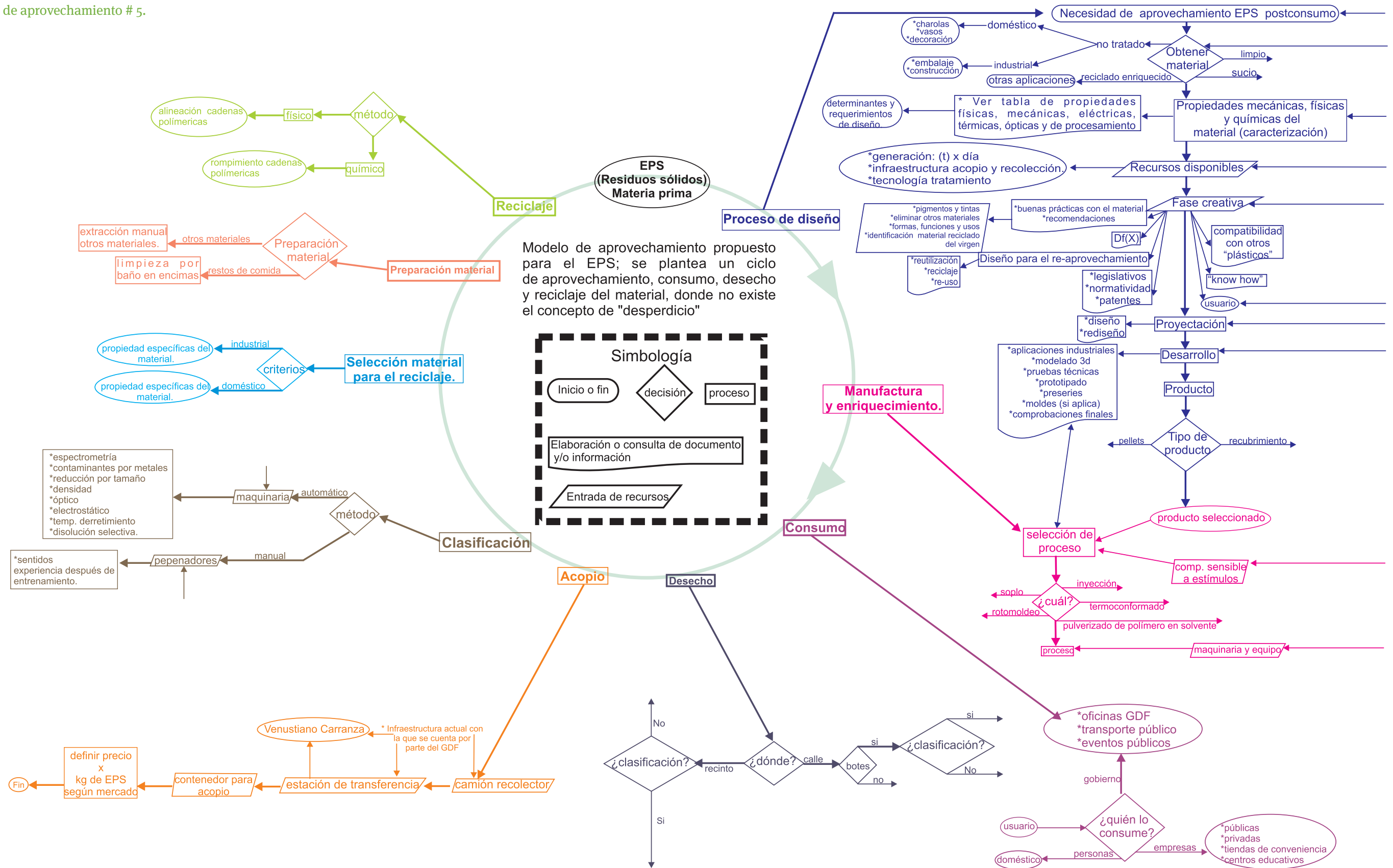


Alternativa modelo de aprovechamiento # 4.



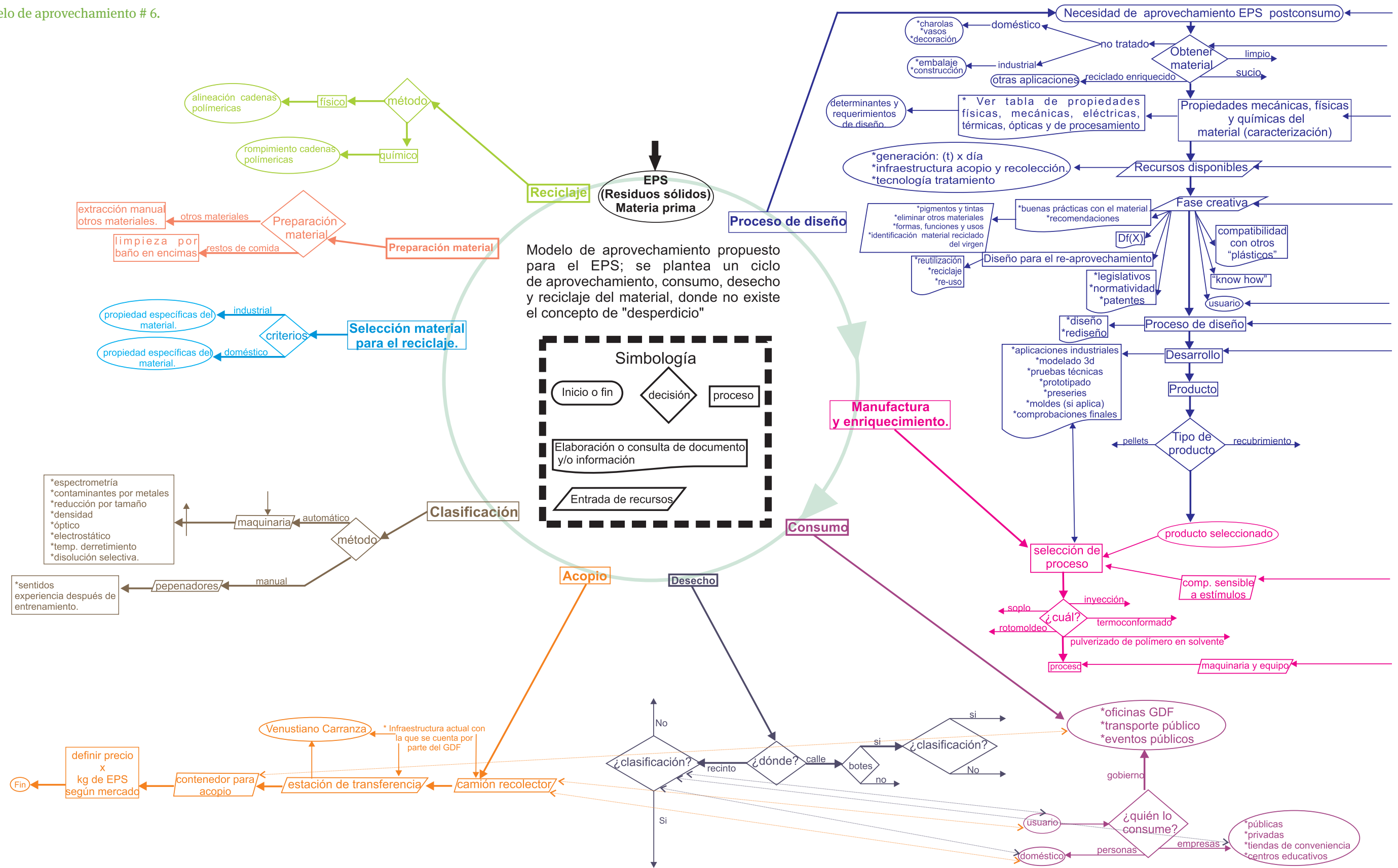


Alternativa modelo de aprovechamiento # 5.



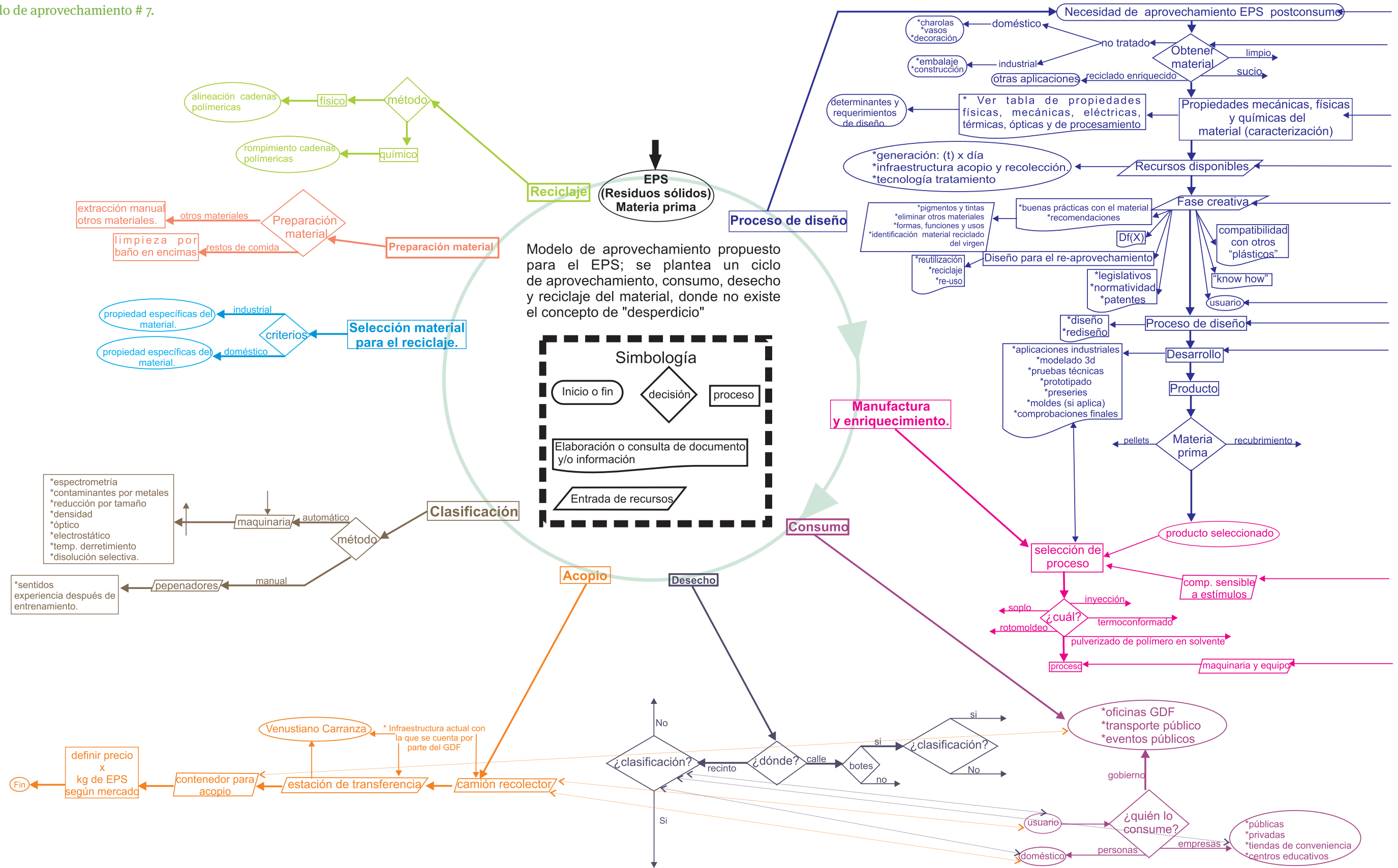


Alternativa modelo de aprovechamiento # 6.





Alternativa modelo de aprovechamiento # 7.





#### 4.3 CAMBIOS REALIZADOS EN LOS MODELOS PROPUESTOS

Alternativa propuesta	Evolución en los modelos (cambios realizados)
1	Se contemplan las diferentes etapas del modelo: Proceso de diseño. Manufactura y enriquecimiento. Consumo. Desecho. Acopio Clasificación. Selección material para reciclaje. Preparación material. Reciclaje. En la fase proceso de diseño, se parte de: propiedades físicas y químicas del material.
2	Se relaciona el modelo actual de consumo de EPS con el modelo propuesto. Se especifican aún más las diferentes etapas del modelo comparado con el modelo anterior. En <b>proceso de diseño</b> , se parte de “problemas existentes ambientalmente”
3	Se plantean cambios en <b>proceso de diseño</b> . Se especifican aún más las diferentes etapas del modelo comparado con el modelo anterior.
4	Cambios en la <b>proceso de diseño</b> : Se parte de “necesidad aprovechamiento EPS post-consumo. Especificidad en “fase creativa” Orden en las fases del proceso de diseño.
5	Se incluye simbología para un mejor entendimiento del modelo. Se especifica <b>desecho</b> , considerando los diferentes lugares donde el material se usa y se descarta.
6	Cambios en <b>proceso de diseño</b> (se cambia el nombre “proyección por “proceso de diseño”) Relaciones evidenciadas entre <b>consumo, desecho y acopio</b> .
7	Cambios en <b>proceso de diseño</b> (en producto se cambia “producto –tipo de producto” a “producto-materia prima”
Definitivo	-Se incluye ciclo de re-aprovechamiento para el material previamente tratado. -Se contempla los recursos económicos como una alternativa para la obtención de para financiar el modelo de aprovechamiento a gran escala. Cambios en <b>proceso de diseño</b> (se incluye simbología de colores para un mejor entendimiento cuando se hace relación a un proceso diferente a proceso de diseño) -La etapa <b>clasificación y discriminación de otros residuos y acopio</b> se unifican en una nueva llamada <b>acopio y clasificación de residuos</b> . Se incluyó la <b>variable</b> de “Sistemas geográficos de Información” como una herramienta para optimizar el sistema de recolección de residuos. -La etapa <b>manufactura y adición compuesto sensible a estímulos se especifica</b> (consideración si se desea el material obtenido sensible a estímulos). Para un mejor entendimiento del modelo se indicaron las “entradas externas al modelo” Se contempla al modelo propuesto como un “SIG” Sistema Integrado de Gestión de residuos. Cambios en <b>proceso de diseño</b> (se incluyen comprobaciones finales, se evidenciaron relaciones existentes) Inclusión del componente “mercado” en relación directa con el “usuario”.

Se partió de un modelo de consumo y desecho lineal (situación actual); hasta proponer un modelo cíclico de aprovechamiento y revalorización para el material, donde no existe el concepto de “desperdicio” pues la materia prima sirve para generar nuevos productos, extendiendo el ciclo de vida del unicel.

Después de la investigación realizada en el DF donde se contempló entre otros aspectos la infraestructura con la que dispone la ciudad para el acopio de residuos sólidos se planteó el siguiente modelo; mismo que se espera sea de aplicación nacional haciendo los respectivos cambios a los que diera lugar según sea la ciudad seleccionada.

Tabla 9. Tabla de cambios realizados en los modelos. Fuente: Propia.







# cap. 5

## Desarrollo del modelo definitivo sobre el aprovechamiento del EPS postconsumo

### 5.1 CONSIDERACIONES ANTES DE IMPLEMENTAR EL MODELO DE APROVECHAMIENTO.

¿Cómo usar el modelo de aprovechamiento para el EPS post-consumo?

#### Dirigido a:

- Gobiernos municipales, estatales o federal
- Empresas del gremio del reciclaje y/o plásticos.
- Despachos de diseño.

#### Valido para:

- EPS virgen
- PS reciclado (material que ya se ha sido previamente tratado proveniente del EPS)
- Susceptible de ser usado para aprovechar otros materiales, siempre y cuando se hagan las modificaciones necesarias.

#### Lugar de aplicación:

- Colonia
- Delegación
- Municipio /ciudad
- Estado
- México.

#### Tiempo de aplicación, variable, según:

- Apoyo gubernamental
- Cantidad de material (toneladas) a aprovechar.
- Sindicato de limpia.
- Consecución insumos.
- Apoyo ciudadano
- Normatividad (nacional – internacional) y permisos de funcionamiento.
- Canal de acopio y selección de residuos.
- Alianzas estratégicas con otras empresas.
- Problemas internos de la organización o ente gubernamental.
- Centros de acopio.
- La recolección de residuos

**Variables que pudieran imposibilitar o afectar la puesta en marcha del modelo:** para un mejor entendimiento se han dividido en: gobierno y normatividad, sociedad, producción.

#### Gobierno y normatividad:

- Ausencia de normas que impulsen el reciclaje por parte de las empresas y de los individuos.
- Falta de legislación sobre la separación de los diversos tipos de polímeros, así como para la clasificación de los materiales.
- Falta de leyes que regulen los procesos y opciones de fabricación de materiales poliméricos en pro de su reciclaje
- Falta de centros de acopio específicos.
- Algunos productos reciclados no pueden estar en contacto con alimentos según normas de FDA.
- Falta de comunicación entre dependencias gubernamentales para la interpretación y generación de reglamentos estandarizados.

#### Sociedad

- Mafias de los residuos sólidos
- Sindicatos.
- Falta de interés del consumidor por productos reciclados.
- Falta de educación sobre la separación y limpieza de desechos.
- Falta de cultura sobre los efectos ambientales del EPS.
- Desconocimiento de la factibilidad de reciclaje del EPS



**Producción:**

- Algunos procesos de reciclado son muy nuevos para penetrar en la industria.
- Algunos materiales no son acopiados por falta de rentabilidad.
- Poca competencia nacional en el ramo.
- Falta de aplicaciones redituables para el uso de varios polímeros a nivel nacional, evitando la exportación de materias primas y la importación de productos transformados.
- Capacidad instalada insuficiente o más cara que la competencia.
- Falta de proveedores en el país, o con costos muy altos.
- Limitado número de ciclos de reciclaje del material obtenido a partir del EPS reciclado.
- Costo del producto y de la actividad de reciclaje.
- Falta de recursos para el desarrollo del proyecto.
- Altos costos de la tecnología requerida.

**.....Antes de implementar el modelo:**

**Actividades a tener en cuenta.**

- Contar con los permisos correspondientes del gobierno para su funcionamiento y estar dado de alta ante la Secretaria de Hacienda.
- Conocer toda la legislación aplicable, actualizada al momento de implementar el modelo.
- Tener los insumos, maquinaria necesaria e instalaciones necesarias.
- Reunir el equipo de personas necesarias para realizar la actividad.
- Conocer la normatividad/patentes vigentes, -ISO 14000-
- Contar con las alianzas estratégicas que sean necesarias (ej: acopio de residuos, clasificación, manufactura, sindicatos, marketing).
- Tener el suficiente y constante abasto de materia prima para tratamiento.
- Definir el canal de distribución y venta del producto manufacturado
- Definir el precio a pagar por materia prima.
- Definir la procedencia de la materia prima a tratar (vasos, charolas, embalajes, mixto, previamente tratado, limpio o sucio, etc)
- Fondos económicos suficientes /financiación
- Definir aplicaciones comerciales o productos a manufacturarse con el material recuperado.
- Conocer la tecnología para el procesamiento del EPS.
- Conocer buenas prácticas de manufactura con el EPS.
- Propiedades mecánicas del material obtenido a partir del reciclaje del EPS.

Insumos: Lista detallada de los insumos-instrumentos/equipo-acción que se requieren para implementar el modelo, algunos de ellos obligatorios y otros opcionales como se aprecia en la siguiente lista:

Clasificación	Insumo – instrumento/equipo-acción	Obligatorio	Opcional
LOGÍSTICA	Camiones recolectores		X
	Centro de transferencia	X	
	Contenedor de acopio en estación de transferencia	X	
	Botes de clasificación de residuos		X
	Máquinas de redimensionamiento		X
	Extrusor de doble usillo	X	
	Máquina densificadora		X
	Termoconformadora		X
	Máquina de Inyección		X
	Máquina de inyección soplo		X
	Máquina de Solubilizado		X
	Máquinas de prototipado rápido		X
	Máquina de Embolsado por sello de calor		X
	Ecotasa	X	
	Sistemas geográficos de información		X
Nave en parque industrial.		X	
EMPRESA Y SOCIEDAD	Pepenadores	X	
	Operador de camiones recolectores	X	
	Operarios del centro de transferencia	X	
	Operarios de maquinaria de aprovechamiento de EPS	X	
	Diseñador industrial	X	
	Ingenieros	X	
	Apoyo gubernamental		X
	Apoyo ciudadano		X
Apoyo de empresas		X	



PRODUCTO	Mercado objetivo donde se venderá el producto	X	
	Campañas educativas de selección de residuos		X
	Usuario del producto	X	
	Know how		X
	Pruebas mecánicas con el material	X	
	Pigmento sensible a estímulos		X
	Df(x)	X	
	Ecodiseño	X	
	Determinantes y requerimientos de diseño	X	
	Precio definido para el EPS	X	
	Moldes		X
	Pre-series	X	
	Prototipado	X	
	Computadoras de diseño	X	
	Sistema Cad/cam		X

Tabla 10. Lista detallada de los insumos-instrumentos/equipo acción que se requieren para implementar el modelo. Fuente: propia Algunos componentes o acciones son opcionales, otros de obligatorio cumplimiento.

### 5.2. COMPONENTES DEL MODELO DEFINITIVO

Se debe aclarar que el siguiente modelo propuesto esta orientado específicamente al aprovechamiento del uncel post-consumo en el DF (materia prima virgen o material proveniente del EPS que previamente ha sido procesado); sin embargo no se descarta que dicha propuesta se pueda aplicar a otras regiones de México y a otros materiales desechados después de haber realizado las modificaciones necesarias.

Fruto del siguiente trabajo de investigación se propone un modelo de aprovechamiento para el EPS, donde no existe el concepto de “desperdicio”; este consta de las siguientes fases:

1. Inicio o fin del ciclo de aprovechamiento
2. Proceso de diseño
3. Manufactura y adición compuesto sensible a estímulos.
4. Consumo
5. Desecho
6. Acopio y clasificación de residuos

7. Preparación del material
8. Selección material: para reciclado sensible a estímulos “PIR” o reciclado no sensible a estímulos “PR”.
9. Reciclaje.

A continuación se explicaran cada una de las etapas mencionadas anteriormente:

#### 1. Fase: Inicio o fin del ciclo del ciclo de aprovechamiento.

EPS residuos materia prima, -primer ciclo. PS (materia prima que ya ha sido aprovechada, -segundo ciclo o posteriores-. Se deben estudiar las diferentes formas para financiar dicho modelo.

\*nota aclaratoria: se contempla ciclos de reciclaje posteriores al primero que se ejemplifican con la línea punteada color verde y el “triángulo universal de reciclaje”.

#### 2. Fase: Proceso de diseño.

Esta fase es la más importante en el modelo de aprovechamiento para el EPS, pues es la que permite encontrar nuevas aplicaciones para el material post-consumo, donde se tienen en cuenta aspectos técnicos a la hora de diseñar con el material, y es en esta etapa donde intervienen activamente los diseñadores industriales.

Se parte una necesidad por aprovechar el EPS post-consumo, esta puede surgir al ser contratado por una fábrica que se dedique a elaborar productos con este material, al trabajar independientemente y encontrar este nicho de mercado inexplorado y por lo tanto redituable, o al ser encomendado por alguna entidad de gobierno que esté interesado en adelantar programas de gestión de residuos sólidos urbanos, - especialmente con el uncel-.

A su vez proceso de diseño se divide en las siguientes etapas:

#### Etapa Prediseño.

En esta se debe considerar las siguientes variables:

- Procedencia del material (embalajes, comida, decorativo, aislamiento)
- Limpio o sucio. ¿Qué tan contaminado se encuentra las piezas de EPS por otros compuestos?
- Previamente reciclado (las propiedades mecánicas del material disminuyen a medida que sus ciclos de reciclaje aumentan)
- Recursos disponibles (cantidad de material, infraestructura de acopio, tecnología disponible)



- Entrada de recursos (exógenos a la empresa, diseñador o entidad de gobierno), entre las que se deben considerar: la cantidad de toneladas que se generan al día del material en la ciudad (variable importante pues define la maquinaria, la infraestructura y tecnología que se requiere para acopiar y tratar el material, así mismo es útil con el propósito de hacer un estimado de la cantidad de material a ser aprovechado según sea el caso).

Esta etapa debe determinar:

- Determinantes y requerimientos de diseño (serie de parámetros que el proyecto de diseño debe satisfacer)
- Procedencia del material (influye en las propiedades mecánicas del material obtenido y temperatura de procesamiento)

**Características de procesamiento del EPS:**

Procedencia material	Temp de procesamiento	Presión de procesamiento	Tiempo de exposición:	Se obtiene una reducción en volumen de:
Desechables	220°C	100 psi	1 minuto	90 : 1
Placas de construcción	250°C	100 psi	1 minuto	95:1
Embalajes	270°C	100 psi	1 minuto	95:1

**Tabla 11.** Características de procesamiento del EPS. Fuente: Gerardo Pedra, Gerente de reciclaje de Dart. Elaboración: propia. Dicha tabla muestra la temperatura de procesamiento, presión y tiempo adecuado según la procedencia del material.

**Pruebas mecánicas del material obtenido a partir del reciclaje del EPS. Muestra 1** provenientes de charolas, vasos y embalaje.

	Tensión en la carga max. (MPa)	Módulo (YoungAut) (MPa)	Tensión carga última (MPa)	Deformación % carga última (%)	Deformación % en la carga max. (%)	Deformación máxima (mm/mm)	Carga en punto rotura automático (kN)	Tensión en punto rotura automático (MPa)	Carga en la carga máxima (kN)	Desplazamiento en la carga máx. (mm)	Deformación en la carga máx. (mm/mm)	Tenacidad (MPa)
1	36.980	2220.312	36.980	3.282	3.282	0.039	0.011	36.980	0.011	0.834	0.033	0.454
2	17.448	513.598	17.448	3.282	3.282	0.039	0.010	17.448	0.010	0.834	0.033	0.144
3	9.054	447.896	9.054	1.970	1.970	0.026	0.003	9.054	0.003	0.500	0.020	0.093
4	18.979	961.307	18.979	1.970	1.970	0.026	0.009	18.979	0.009	0.500	0.020	0.100
5	20.785	297.158	20.785	5.345	5.345	0.093	0.005	11.483	0.009	1.358	0.053	0.352
<b>Media</b>	<b>20.649</b>	<b>888.054</b>	<b>20.649</b>	<b>3.170</b>	<b>3.170</b>	<b>0.045</b>	<b>0.008</b>	<b>18.789</b>	<b>0.009</b>	<b>0.805</b>	<b>0.032</b>	<b>0.229</b>
D.E.	10.176	784.759	10.176	1.382	1.382	0.028	0.004	10.965	0.003	0.351	0.014	0.164
C.V.	49.281	88.368	49.281	43.592	43.592	61.654	44.352	58.359	36.318	43.592	43.592	71.860
Mediana	18.979	513.598	18.979	3.282	3.282	0.039	0.009	17.448	0.009	0.834	0.033	0.144
Media +2.00 DE	41.001	2457.573	41.001	5.933	5.933	0.100	0.015	40.718	0.015	1.507	0.059	0.557
Media - 2.00 DE	0.297	-681.465	0.297	0.406	0.406	-0.010	0.001	-3.141	0.002	0.103	0.004	-0.100
Mínimo	9.054	297.158	9.054	1.970	1.970	0.026	0.003	9.054	0.003	0.500	0.020	0.093
Máximo	36.980	2220.312	36.980	5.345	5.345	0.093	0.011	36.980	0.011	1.358	0.053	0.454

**Tabla 12.** Pruebas mecánicas del material obtenido a partir del reciclaje del EPS. Muestra proveniente de charolas, vasos y embalajes. Fuente: Instituto de Investigación de Materiales de la UNAM. Elaboración: propia. Propiedades mecánicas del material de la muestra 1. La columna izquierda de la tabla anterior muestra la media.

**Pruebas mecánicas del material obtenido a partir del reciclaje del EPS. Muestra 2.** Segunda fase de reciclado.

	Tensión en la carga max. (MPa)	Módulo (YoungAut) (MPa)	Tensión carga última (MPa)	Deformación % carga última (%)	Deformación % en la carga max. (%)	Deformación máxima (mm/mm)	Carga en punto rotura automático (kN)	Tensión en punto rotura automático (MPa)	Carga en la carga máxima (kN)	Desplazamiento en la carga máx. (mm)	Deformación en la carga máx. (mm/mm)	Tenacidad (MPa)
1	22.027	898.013	22.027	2.267	2.627	0.033	0.024	22.027	0.024	0.667	0.026	0.234
2	17.502	673.685	17.502	2.625	2.625	0.033	0.015	17.502	0.015	0.667	0.026	0.148
3	15.559	579.739	15.559	3.282	3.282	0.039	0.019	15.559	0.019	0.834	0.033	0.120
4	17.031	673.054	17.031	2.625	2.625	0.066	0.010	10.850	0.016	0.667	0.026	0.262
5	18.053	953.713	18.053	1.970	1.970	0.026	0.018	18.053	0.018	0.500	0.020	0.140
<b>Media</b>	<b>18.034</b>	<b>755.641</b>	<b>18.034</b>	<b>2.626</b>	<b>2.626</b>	<b>0.039</b>	<b>0.017</b>	<b>16.798</b>	<b>0.018</b>	<b>0.667</b>	<b>0.026</b>	<b>0.181</b>
D.E.	2.417	161.231	2.417	0.464	0.464	0.015	0.005	4.072	0.004	0.118	0.005	0.063
C.V.	13.401	21.337	13.401	17.672	17.672	39.066	30.262	24.241	19.918	17.672	17.672	34.817
Mediana	17.502	673.685	17.502	2.625	2.625	0.033	0.018	17.502	0.018	0.667	0.026	0.148
Media +2.00 DE	22.868	1078.102	22.868	3.554	3.554	0.070	0.028	24.942	0.026	0.903	0.036	0.306
Media - 2.00 DE	13.201	433.180	13.201	1.698	1.698	0.009	0.007	8.654	0.011	0.431	0.017	0.055
Mínimo	15.559	579.739	15.559	1.970	1.970	0.026	0.010	10.850	0.015	0.500	0.020	0.120
Máximo	22.027	953.713	22.027	3.282	3.282	0.066	0.024	22.027	0.024	0.834	0.033	0.262

**Tabla 13.** Pruebas mecánicas del material obtenido a partir del reciclaje previo del EPS (segunda fase). Fuente: Instituto de Investigación de Materiales de la UNAM. Elaboración: propia. Propiedades mecánicas del material de la muestra 2. La columna izquierda de la tabla anterior muestra la media



\*nota aclaratoria: la procedencia de las piezas de EPS influye en las propiedades mecánicas del material reciclado obtenido del mismo, así como la materia prima; por esto se recomienda hacer pruebas de laboratorio específicas para cada caso. Se incluyen propiedades a modo de referencia.

**Etapa Conceptual**

Es aquella donde la información obtenida y la experiencia previa se transforma en conceptos, los cuales serán fundamentales en fases posteriores.

En esta se debe considerar las siguientes variables:

- Buenas prácticas con el material (pigmentos, compatibilidad con otros polímeros, normatividad).
- Existen ciertos pigmentos y tintas que no se deberían usar porque imposibilitan que el material se pueda sensibilizar a estímulos (en pruebas de laboratorio se concluyó que la tinta de color verde del vaso de bebidas de 10 oz vendido en “7/11” fabricado por “Dart” es la única que permite su enriquecimiento, comparado con el resto de las vasos vendidos en el mercado, donde se comprobó que no era posible).
- Eliminar otros materiales: se ha comprobado que otros materiales diferentes al EPS impiden cualquier posibilidad de reciclaje, esta situación se presenta con las etiquetas especialmente de los vasos para bebidas calientes que se encuentran pegadas al cuerpo a través de un pegamento que impide que la etiqueta se pueda retirar en su totalidad.
- Formas, funciones y usos: según las especificaciones del material de acuerdo con uso, se deben tener en cuenta a la hora de proponer formas orgánicas, ángulos de salida, espesores.
- Identificación material reciclado del virgen: a medida que el material es reciclado sus propiedades van disminuyendo, por lo tanto se debe ir mezclando con EPS sin procesar con el fin de mantener un margen de tolerancia adecuado a las propiedades mecánicas del material.
- Características del material a usar.

**Características del PS reciclado y sus cambios según la exposición a diferentes temperaturas y factores ambientales.**

Variable	Temp	Frío	Calor	Intemperie
Translucido/transparente		Transparente	Se vuelve translucido	Se vuelve translucido.
Dureza		Constante	Disminuye	Disminuye
Fragil		Constante	Disminuye	Disminuye
Textura		Constante	Cambia	Cambia

Tabla 14. Características del PS reciclado y sus cambios según la exposición a diferentes temperaturas y factores ambientales. Fuente: propia. Las características se obtuvieron a través de la observación del material luego de ser sometido a diversos factores.

**Costos estimados del material reciclado obtenido.**

Material	Costo/tonelada
EPS virgen	16,900 MXN
PS reciclado	11,250 MXN
“PIR”. Polímero inteligente reciclado*	26700 MXN

\*“PIR” fue el nombre que se le dio al material obtenido en laboratorio a partir de EPS sensible a estímulos.

Tabla 15. Precios estimados para el EPS postconsumo aprovechado. Fuente: propia. Los datos suministrados fueron obtenidos después de hacer un estudio de costos contemplando diferentes variables. Las siglas MXN hacen referencia al Peso Mexicano.

\*nota aclaratoria: El precio mostrado del material reciclado es un estimado. Se recomienda hacer los cálculos necesarios en cada caso específico con el fin de determinar el precio real; pues este varía en función de la maquinaria usada, la capacidad instalada, si el material es sensible a estímulos, el producto a desarrollar entre otros aspectos.

- Usuario – mercado. Identificar sus características con el fin de proponer productos acorde a sus necesidades.
- Recursos disponibles (cantidad de material, infraestructura de acopio, tecnología disponible)
- Entrada de recursos (exógenos a la empresa, diseñador o entidad de gobierno)



### Máquinas necesarias para el procesamiento y aprovechamiento del EPS postconsumo

Equipo	Finalidad
Máquina de redimensionamiento	Reducir el tamaño de las piezas de EPS
Extrusor de doble usillo	Densificar el material y mezclarlo con el pigmento sensible a estímulos.
Termoconformadora	Manufactura de piezas elaborados a partir de EPS reciclado
Máquina de Inyección	Manufactura de piezas elaborados a partir de EPS reciclado
Máquina de inyección soplo	Manufactura de piezas elaborados a partir de EPS reciclado
Máquina de Solubilizado	envasado para pintura

**Tabla 16.** Listado de maquinaria necesaria para el procesamiento y aprovechamiento del EPS postconsumo. Fuente: propia. La lista anterior se incluye a modo de referencia y guía.

Esta etapa debe determinar:

- El mercado y usuario del producto a diseñar y desarrollar.

#### Etapa: Proceso de diseño.

Tal vez es una de las etapas más importantes pues es donde la habilidad del diseñador permite generar rediseñar o diseñar nuevos productos, a partir de los conceptos formulados en la etapa anterior y su experiencia previa diseña un producto acorde a los requerimientos formulados.

En esta se debe considerar las siguientes variables:

- Entrada de recursos (tecnología con la que se debe dispone para el procesamiento del material).
- Las propiedades mecánicas del material aprovechado disminuyen con el aumento en el número de ciclos de reciclaje.

Esta etapa debe determinar:

- Aplicaciones industriales para el producto a desarrollar:

#### Etapa: Desarrollo de producto.

En esta se deben considerar las siguientes variables:

- modelado 3d (software cad-cam)
- prototipado rápido

\*nota aclaratoria: Por el momento no es posible hacer prototipado rápido usando el “EPS post-consumo reciclado” pues no existen las maquinas especiales para utilizar dicho polímero”.

- preseries
- moldes (si se llegara a requerir)
- Entrada de recursos (exógenos a la empresa, diseñador o entidad de gobierno)

Esta etapa debe determinar:

- El producto a manufacturarse.

#### Etapa: Producto a manufacturar.

Según sea el producto a fabricarse, se debe seleccionar el tipo de presentación de material obtenido a partir del reciclaje de EPS post-consumo:

- láminas o pellets
- recubrimiento (para usarse como pintura)

Esta etapa debe determinar:

- La presentación comercial del material, es una característica que será fundamental en la siguiente fase: manufactura y adición compuesto sensible a estímulos.

#### 3. Fase: manufactura y adición compuesto sensible a estímulos.

Una vez se defina el producto a fabricarse, se debe seleccionar el proceso para el mismo. En este mismo punto el compuesto sensible a estímulos entra al proceso de manufactura con el fin de convertir el EPS post-consumo en un material inteligente.

#### Etapa: selección proceso.

Según las especificaciones del material y el producto a fabricarse se debe seleccionar entre los diferentes procesos de transformación para el material: soplo, inyección, termoconformado, rotomoldeo, pulverizado de polímero en solvente.

En esta se debe considerar las siguientes variables:

- Entrada de recursos (tecnología con la que se dispone para el procesamiento del material)

Esta etapa debe determinar:

- el proceso idóneo de manufactura.

#### Etapa: proceso seleccionado.

Dependiendo del proceso seleccionado, se deberá seleccionar la maquinaria necesaria para el mismo.

En esta se debe considerar las siguientes variables:

- Entrada de recursos (maquinaria y equipo)

#### Etapa: decisión ¿sensible a estímulos?

En esta se debe considerar las siguientes variables:

- Al incluir un compuesto para volver el material sensible a estímulos, esto incrementará los costos.



Esta etapa debe determinar:

- si se agrega compuesto sensible a estímulos (fotocrómico, termocrómico, fluorescente, etc)

\*nota aclaratoria: la inclusión de un compuesto sensible a estímulos no incidirá en las propiedades mecánicas ni de transformación del material.

#### 4. Fase: consumo.

Este tipo de productos y material pueden ser usado básicamente por 3 tipos diferentes de usuarios:

- Las personas: principalmente usado en casa habitación, siendo la generación de este material menor comparado con otros usuarios porque proviene principalmente de vasos, charolas o contenedores de alimentos.
- Empresas: Es el mayor consumidor de EPS pues reúne desde las pequeñas hasta las grandes; se encuentran las tiendas de conveniencia que venden bebidas calientes en vasos fabricados con EPS, también encontramos las constructoras y empresas del ramo que lo utilizan para fabricar desde mamparas, plafones, hasta paredes falsas usándolo como aislante. Los centros educativos también son grandes consumidores, -sus cafeterías-, pues despachan alimentos en productos hechos de poliestireno expandido.
- Gobierno: Contempla oficinas del Gobierno del Distrito Federal y del Gobierno Federal, medios de transporte masivos como el metro, metrobús, tren ligero entre otros; así como eventos masivos, en estadios, centros culturales, etc.

En esta fase se debe considerar las siguientes variables:

- Los usuarios que lo consumen.
- Entrada de recursos (exógenos a la empresa, diseñador o entidad de gobierno)

Esta etapa debe determinar:

- el usuario meta del cual se pretende acopiar el material.

#### 5. Fase: Desecho.

Esta actividad ocurre cuando el material o producto fabricado de EPS llega al final de su primer ciclo de vida, esta se presenta en 2 lugares: en la calle o en un recinto.

Si es desechado en la calle puede ser o no dispuesto en botes. Si es dispuesto en botes estos pueden clasificar el EPS en una categoría independiente del resto de los residuos, o por el contrario terminar dispuesto con el resto de los otros productos. En el peor de los casos,

si los productos hechos de EPS son arrojados en la calle, estos pueden terminar en corrientes de agua o en espacios públicos generando focos de contaminación y enfermedades.

La otra variable presente en esta etapa es si el EPS es desechado en un recinto, donde igualmente puede haber botes que propicien su clasificación o si por el contrario será dispuesto junto con el resto de los residuos.

En esta fase se debe considerar las siguientes variables:

- Los lugares donde se desechan con el fin de hacer campañas de selección de residuos.
- Entrada de recursos (exógenos a la empresa, diseñador o entidad de gobierno) como botes de clasificación.

Esta etapa debe determinar:

- los lugares donde se distribuirán botes de clasificación y donde se harán campañas de educación.

#### 6. Fase: acopio y clasificación de residuos:

##### Etapa: recolección

Esta fase consiste en recoger los desechos que se generan al día en el Distrito Federal. Para esto, la ciudad cuenta con una flota de camiones para cada una de las 16 delegaciones que la componen.

En esta fase se debe considerar las siguientes variables:

- La infraestructura para la recolección de residuos (camiones, personal y otro equipo).
- Sindicatos del departamento de limpia.
- Entrada de recursos: (-sistemas geográficos de información- es software, hardware y datos geográficos organizados lógicamente en un solo sistema para almacenar, analizar y controlar la información geográficamente referenciada con el propósito de solucionar problemas de gestión).

\*nota aclaratoria: Los sistemas geográficos de información son una herramienta valiosa con el propósito de gestionar de una forma más apropiada los recursos que se disponen, en este caso para la recolección de residuos con el fin de hacer más eficiente el proceso.

Actualmente el DF no cuenta con este sistema enfocado hacia este propósito, por lo que se recomienda se implemente.

Esta etapa debe determinar:

- las rutas de recolección.
- el personal usado para la recolección
- el equipo para la recolección.





**Etapa: clasificación y discriminación de otros residuos.**

El camión recolector de basura lleva su contenido a las estaciones de transferencia donde se clasifican los residuos que allí llegan en aprovechables y no aprovechables. Actualmente el Gobierno del Distrito Federal cuenta con un contenedor de acopio específicamente para el EPS que se encuentra localizado en la estación de transferencia “Venustiano Carranza”, dicho elemento hace parte del programa que la ciudad vienen desarrollando en conjunto con la empresa “DART” para la recolección del material en sus oficinas administrativas. Se planea usar la infraestructura con la que se cuenta con el fin de optimizar y reducir costos en el proceso.

La discriminación de residuos se puede realizar de 2 formas diferentes: automático y el manual. La escogencia dependerá de las situaciones sociales y especialmente económicas del proyecto. En el Distrito Federal se espera que la selección manual sea la escogida pues se privilegiara el trabajo de los pepenadores que después de un entrenamiento estarán en capacidad de separar el EPS del resto de los residuos.

En el método automático; donde la clasificación es realizada por una máquina o una serie de estas, también existen una gran cantidad de alternativas, como:

- Espectrometría.
- Contaminantes por metales.
- Reducción por tamaño.
- Óptico.
- Electrostático.
- Temperatura derretimiento.
- Disolución selectiva.

En esta fase se debe considerar las siguientes variables:

- La infraestructura con la que dispone el GDF.
- El sindicato de limpia del GDF.

\*nota aclaratoria: la selección entre el método manual y automático dependerá de los requerimientos propios del proyecto y del contexto geográfico en el que se desarrolle el proyecto.

Esta etapa debe determinar:

- mejoras en la actividad de recolección.
- el método de discriminación de residuos: manual o automático.

**Etapa: almacenamiento**

Se guardará la materia prima acopiada que luego será llevada a la planta correspondiente de aprovechamiento post-consumo.

En esta fase se debe considerar las siguientes variables:

- La capacidad de almacenaje del contenedor.

Esta etapa debe determinar:

- mejoras en la actividad de clasificación y discriminación de otros residuos.

**Etapa: definir precio (kg) de EPS según mercado.**

Se hace necesario definir un precio por kg base para comprar – vender este material, ya que como se ha mencionado actualmente carece de valor comercial.

En esta fase se debe considerar las siguientes variables:

- La capacidad instalada para procesamiento de material.
- La cadena de logística involucrada en el ciclo de vida del EPS.

Esta etapa debe determinar:

- El precio de venta /compra del EPS.

**Precios estimados para el EPS**

Septiembre de 2012.		
EPS	Mínimo (MXN / kg)	Máximo (MXN / kg)
Limpio	6 MXN	10 MXN
Sucio	2 MXN	4 MXN
Densificado	6 MXN	8 MXN

**Tabla 17.** Precio estimado para el EPS de postconsumo. Fuente: propia.

Datos calculados a partir de precios de referencia de otros plásticos como PET. Las siglas MXN hacen referencia al Peso Mexicano.

\*nota aclaratoria: las cifras mostradas en la tabla anterior solo son un estimado, para cada proyecto se deberá determinar el precio a pagar por EPS en función de:

- material limpio o sucio.
- material densificado.
- precios de otros plásticos.
- disponibilidad de material.

**7. Fase: preparación del material.**

Esta fase es primordial para asegurarse que el material se encuentre libre de otros materiales así como de restos de comida que impidan la fase siguiente.



Para preparar el material se deben tener en cuenta 2 variables: extraer materiales y cuerpos extraños de forma manual (privilegiando la mano de obra calificada y entrenada para dicha labor) y se deben limpiar los restos de comida a través de un baño en detergentes con alto contenido de soda caustica. Es sabido que cualquier impureza impide el reciclaje dando como resultado un material imperfecto.

En esta fase se debe considerar las siguientes variables:

- El tipo de contaminación que tenga los productos de EPS.
- Ningún producto que esté en contacto directo con alimentos puede estar fabricado de material reciclado según normatividad de la FDA.

Esta etapa debe determinar:

- El tipo de solución limpiadora más idónea para remover la contaminación de las piezas de EPS.

#### 8. Fase: \*Selección material: para reciclado sensible a estímulos “PIR” o reciclado no sensible a estímulos “PR”.

Se debe aclarar que todo el EPS es susceptible de ser reciclado, sin embargo las tintas que son usadas para ser serigrafiados (impresión con la marca) impiden que estas piezas puedan ser sensibilizadas a estímulos (esto se entiende como la capacidad que tiene el material para cambiar sus propiedades con ciertos estímulos, por ejemplo cambia de color en la presencia de rayos UV, como los del sol).

\*nota aclaratoria: “PIR” fue el nombre que se le dio al polímero inteligente reciclado (sensible a estímulos) obtenido en laboratorio a partir del poliestireno expandido de postconsumo.

“PR” es el nombre asignado al polímero reciclado obtenido del poliestireno expandido de postconsumo.

En esta fase se debe decidir qué clase de material se desea procesar:

- Piezas de EPS virgen que puede estar serigrafiado o no.

Una vez que son seleccionadas las piezas a procesar, se debe discriminar por el tipo de procedencia: industrial (vasos charolas, contenedores, etc.) o doméstico (embalaje, construcción, decoración, etc) ya que según su uso la densidad del material es diferente; por ejemplo el EPS usado para embalaje tiene mayor densidad que el usado para vasos o charolas.

- Material previamente reciclado.
- Material que ya fue reciclado (sensibilizado a estímulos o solo reciclado)

En esta fase se debe considerar las siguientes variables:

- Procedencia del material.
- Materia prima virgen o no.
- El material a tratar está serigrafiado.

Esta etapa debe determinar:

- El material tratado será sensibilizado a estímulos o no (depende de especificaciones del cliente)

\*nota aclaratoria: al material reciclado (sea enriquecido a estímulos o no se le deberá agregar materia prima virgen con el propósito de mejorar sus propiedades mecánicas.

\*nota aclaratoria: el material que ha sido previamente enriquecido (sensible a estímulos) y desechado por llegar al final de su segundo ciclo de vida será fácilmente identificable por su color y textura (en ausencia de rayos UV de color blanco pastoso y textura cauchosa, sensibilizado el material será de color magenta), dicha diferenciación será parte del entrenamiento que las personas que se encarguen de su clasificación reciban.

#### 9. Fase: Reciclaje.

Esta fase se puede realizar usando 2 métodos diferentes: físico (alineación cadenas poliméricas) y químico (alteración de cadenas poliméricas del EPS). La selección de un método o del otro dependerá de las especificaciones del cliente, así como la tecnología disponible.

En esta fase se debe considerar las siguientes variables:

- El tipo de reciclaje que se desee realizar
- Las aplicaciones para el EPS reciclado post-consumo.

Esta etapa debe determinar:

- El tipo de reciclaje: físico o químico.

#### 5.3. METODOLOGIA USADA PARA DESARROLLAR NUEVAS APLICACIONES INDUSTRIALES.

En esta fase del proyecto de investigación se intentará encontrar una posible aplicación para el material reciclado; a esta etapa se le conocerá como “Metodología de Investigación tecnológica para el reciclado de “EPS” post-consumo conocida como “PR”- polímero reciclado; y polímero inteligente reciclado a partir de “EPS” post-consumo denominado como “PIR,” para su consumo masivo.

Con el fin de llevar a buen término el desarrollo del proyecto se usará la metodología utilizada por algunas agencias de gobierno de los Estados Unidos y otras grandes compañías del mundo conocida como “TRL” por



sus siglas en inglés, - **Technology Readiness Level** (TRL<sup>39</sup>) para evaluar la maduración de las tecnologías en evolución, -materiales, componentes, dispositivos, mecanismos, entre otras,- para su incorporación en un sistema productivo como puede ser una compañía, línea de producción, o para generar un nuevo producto a través del desarrollo de una idea.

El “TRL” consta de las siguientes etapas:

1. Principios básicos observados y reportados. Se parte de una idea básica o principio fundamental para posteriormente lograr su aplicación práctica. Esta etapa se fundamenta en investigación teórica y de campo con el fin de conocer que hay, que existe y que se ha investigado.

*Fase en el proyecto:* Se hizo una investigación a profundidad del EPS acerca de temas como: composición química, fabricación, maquinaria usada para su procesamiento, aplicaciones industriales, métodos de reciclaje, aplicaciones post-consumo, entre otros temas relacionados; tanto de México como en el mundo.

2. Formulación de la tecnología o su aplicación. Esta etapa consiste en proponer una idea para su desarrollo, sin embargo la misma carece de estudios científicos que prueben su viabilidad.

*Fase en el proyecto:* En esta etapa se planteó la siguiente hipótesis con el propósito de comprobarla: ¿Es posible que el EPS post-consumo se pueda convertir en otros productos con el fin de prolongar su vida útil haciéndolo cíclico?

3. Concepto o idea es probada a través del análisis y la experimentación. Las primeras pruebas y experimentación se realizan con el fin de corroborar que la hipótesis planteada en el paso anterior es factible.

*Fase en el proyecto:* En esta se contempla realizar pruebas de experimentación en el laboratorio para comprobar que:

- El EPS es reciclable, situación que lo hace propicio para convertirse en materia prima y fabricar otros productos.
- Características del material obtenido a partir del EPS post-consumo para plantear posibles aplicaciones y métodos de manufactura.
- Ideas de diseño de aplicación para el material obtenido.

4. Prototipos básicos son puestos a prueba en el laboratorio. Ejemplos básicos de la tecnología o productos planteados son construidos y puestos a prueba con el fin de comprobar aciertos y continuar con el desarrollo de la idea.

*Fase en el proyecto:* De ser posible se harán modelos formales con el material para hacer primeras pruebas de usabilidad, resistencia del material y factibilidad de maquinabilidad, evaluándolos en un ambiente controlado

5. Prototipos básicos son probados en un ambiente real. El material obtenido a partir del EPS será probado en condiciones reales de uso; de igual forma los prototipos elaborados con este material serán puestos a prueba en situaciones lo más reales posibles con el propósito de conocer sus cualidades y desventajas.

*Fase en el proyecto:* Con la información recopilada en la fase anterior, se harán las mejoras que correspondan, por ejemplo: en los modelos elaborados para mejorar las condiciones de usabilidad, y en el material obtenido con el fin de determinar la mezcla de compuestos adecuada para obtener una mayor rigidez y facilidad de mecanizado.

6. Un sistema o subsistema del total del prototipo o modelo se prueba en un ambiente real. Se pone a prueba una parte del todo con el fin de comprobar su funcionamiento.

*Fase en el proyecto:* Un componente del prototipo fabricado a partir del EPS post-consumo es puesto a prueba en un ambiente real, esto con el fin de verificar su correcto desempeño. Si después de las pruebas efectuadas en esta fase se hiciera necesario variar alguna característica del material, como procedencia del material, % de mezcla, entre otros aspectos, será el momento para hacer dichas adecuaciones.

7. Todo el sistema es puesto a prueba. El prototipo final en su conjunto es puesto a prueba en un ambiente real.

*Fase en el proyecto:* Una vez comprobado el funcionamiento de cada parte o subsistema del prototipo se pone a prueba en conjunto con el fin de verificar el funcionamiento de todo el sistema en un ambiente real de uso, así mismo se evalúan las propiedades mecánicas del material con el fin de determinar si cumplen los requerimientos estipulados. El prototipo se pondrá a prueba en un ambiente real de uso para comprobar su usabilidad.

39. (www.nasa.gov, 2012)



8. El sistema o prototipo es certificado a través de demostraciones y pruebas. Se efectuarán pruebas de usabilidad y resistencia con el fin de obtener licencias de comercialización y venta.

*Fase en el proyecto:* Al ser un producto elaborado a partir de un material reciclado la normatividad es más específica; se sabe que el producto resultante no puede estar en contacto directo con alimentos según normatividad de la FDA. Se deberá contar con los permisos correspondientes si se desea comercializar el producto.

9. Sistema actual es certificado por medio de una operación exitosa. La versión final es puesta a prueba en un ambiente real en condiciones normales de operación, se espera que surjan pequeños problemas de diseño que puedan ser corregidos fácilmente. Cualquier mejora que se haga a partir de este punto, -se encuentre planeada o no-, se debe empezar desde el punto 1.

*Fase en el proyecto:* El prototipo fabricado con EPS post-consumo (técnicamente será fabricado a partir de PS, pues el aire ha sido extraído, dejando de ser “expandido”) será certificado (en términos de usabilidad), no toxicidad para personas y/o animales; demostrándose que está apto para su comercialización.

### 5.3.1. Límites y alcances de la propuesta

Por cuestiones de tiempo se espera poder llegar al punto 5 (prototipos básicos testeados en un ambiente real) de la metodología expuesta anteriormente, sin embargo algunas otras variables pueden afectar el desarrollo del mismo:

- encontrar una aplicación práctica del material.
- insumos y materia prima que se requieran para la fabricación y/o puesta en marcha del prototipo.
- disponibilidad de tiempo de las fábricas o asesores.
- recursos económicos y materiales.
- tiempo estimado para la elaboración del prototipo y efectuar las pruebas necesarias.
- otros factores externos a la realización del proyecto de investigación.

### 5.3.2. Descripción y ejecución y de la propuesta de comprobación.

La propuesta de trabajo consistirá de 2 fases:

- I. Reciclar el EPS post-consumo proveniente de los vasos desechables, charolas, embalaje y otras aplicaciones
- II. Enriquecer dicho material agregándole un polímero inteligente para “hacerlo sensible a estímulos”; esperando que dicha característica lo haga interesante para su aprovechamiento post-consumo, extendiendo la vida útil del material.

Para esta fase del proyecto se trabajará en un grupo interdisciplinar compuesto por ingenieros químicos y diseñadores industriales:

- PhD Miguel Eguiluz
- PhD Mikhail Zolotukhin.
- I.Q. Alfredo Cruz.
- MD.I. Javier Fajardo.
- MD.I. Iroel Heredia

A continuación se explicarán las fases de ejecución y de la propuesta de comprobación más detalladamente:

*Fase I. Reciclar el EPS post-consumo proveniente de los vasos desechables, charolas, embalaje, y otras aplicaciones. La finalidad de esta fase será obtener un estireno reciclado.*

El proceso de aprovechamiento que se explicará a continuación corresponde a reciclaje mecánico (extracción del material) y posteriormente físico (se debe aclarar que no es reciclaje químico porque las cadenas poliméricas del EPS nunca se rompen, sólo se alinean).

Obtención de película de EPS reciclado en laboratorio: La fase de laboratorio será una primera etapa donde el reciclaje se hará en laboratorio, para luego con las experiencias obtenidas en la misma se haga con la maquinaria necesaria para tal fin.

Preparación de las piezas de EPS.

1. **Recolección de material a ser reciclado.** En este caso vasos desechables de EPS.



**Figura 23.** Los productos fabricados con EPS deben estar lo más limpios y libres de contaminantes (comida, materiales y/o elementos). Fuente: propia. La fotografía de la derecha evidencia que al pegar etiquetas imposibilitan el reciclaje del material.

Proceso seguido:

2. **Corte de los vasos:** Aro superior e inferior de los vasos se retirarán con el fin de tener un material homogéneo en su densidad (densidades diferentes en un material podrían generar que el material obtenido no tenga propiedades homogéneas)



**Figura 24.**  
Corte de cada vaso en sus diferentes secciones (aro superior e inferior).  
Fuente: propia. Proceso de aprovechamiento.

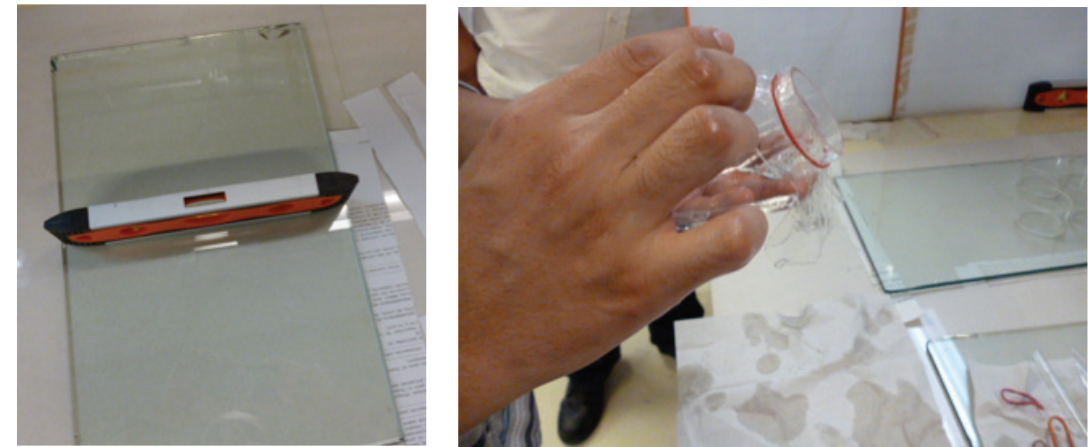
Se corta el material resultante en trozos más pequeños o se densifica usando una laminadora de rollos planos.



**Figura 25.**  
Corte de cada vaso en sus diferentes secciones (aro superior e inferior).  
Fuente: propia. Proceso de aprovechamiento.

Preparación instrumental y materiales de laboratorio.

3. Se nivela la superficie donde se apoyaran las muestras de EPS y se prepara el instrumental necesario para desarrollar la experimentación.



**Figura 26.**  
Una superficie plana de trabajo permitirá obtener películas de igual grosor.  
Fuente: propia. Para dicho propósito se usa un “nivel” para asegurarse que la superficie se encuentra plana.

4. Se pesa el material a ser reciclado.



**Figura 27.**  
El peso del material es una variable muy importante pues define la cantidad de solvente a usar (% del material vs solvente).  
Fuente: propia.



5 Se introduce el material a ser reciclado dentro de una pipeta de mayo.

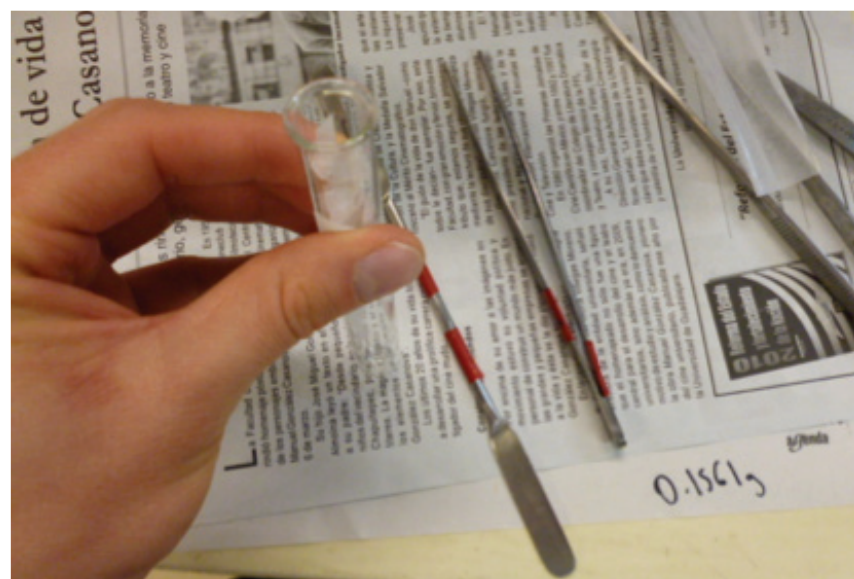


Figura 28. Todo el EPS debe quedar en el fondo de la pipeta para facilitar que el material se disuelva. Fuente: propia.

6. Se agrega la cantidad adecuada de disolvente según cálculos elaborados anteriormente y se agita hasta que no aparezcan más partículas en la mezcla.



Figura 29. Se debe agregar el disolvente usando guantes y elementos de protección personal en un ambiente dotado de extractores de vapores ya que puede ser un compuesto nocivo para la salud. Fuente: propia.

7. Se vierte el contenido del poliestireno disuelto en una pipeta Pasteur

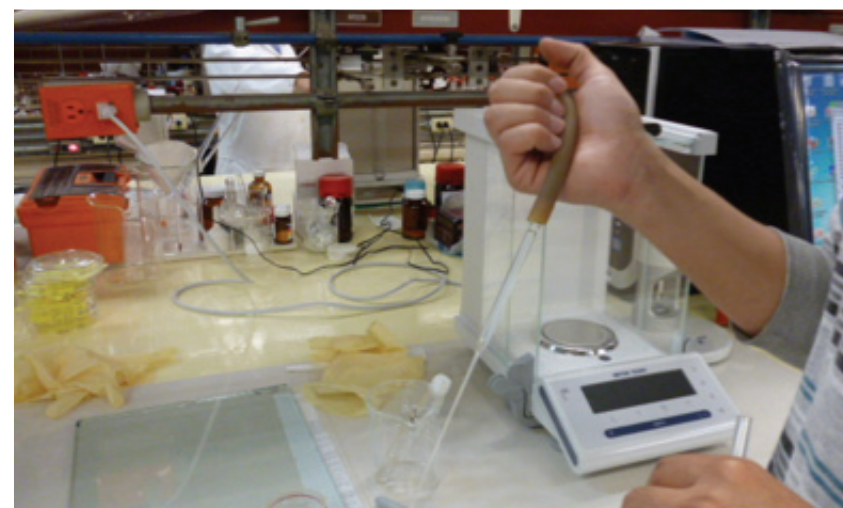


Figura 30. Es importante que en la pipeta se queden las impurezas que pudieran afectar la película de poliestireno "PS". Fuente: propia. Se recomienda usar algodón como filtro, donde las impurezas quedaron atrapadas.

8. Se vierte la solución de poliestireno sobre el celofán ahumado previamente acondicionado para tal fin; sobre esta se formara la película de "PS" obtenida.

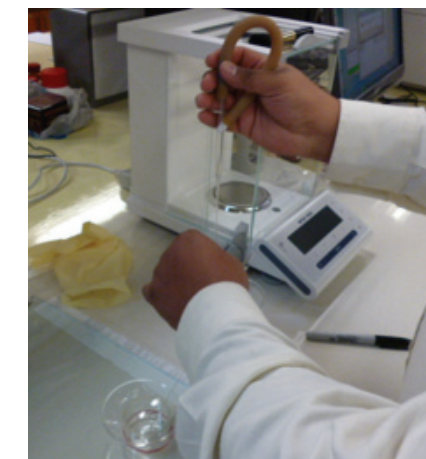
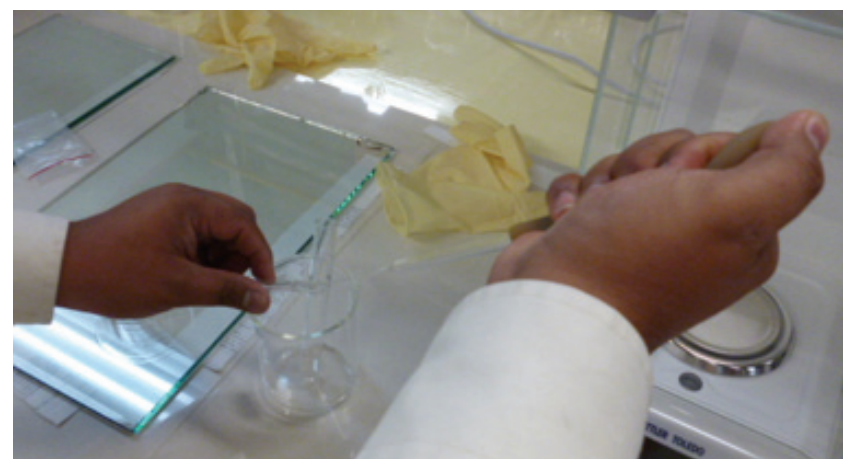


Figura 31. La solución se tapa con un vidrio de reloj para que no se contamine. Se espera que en un plazo de 12h el disolvente se haya evaporado dejando una película. Fuente: propia.

9. Obtención película de poliestireno

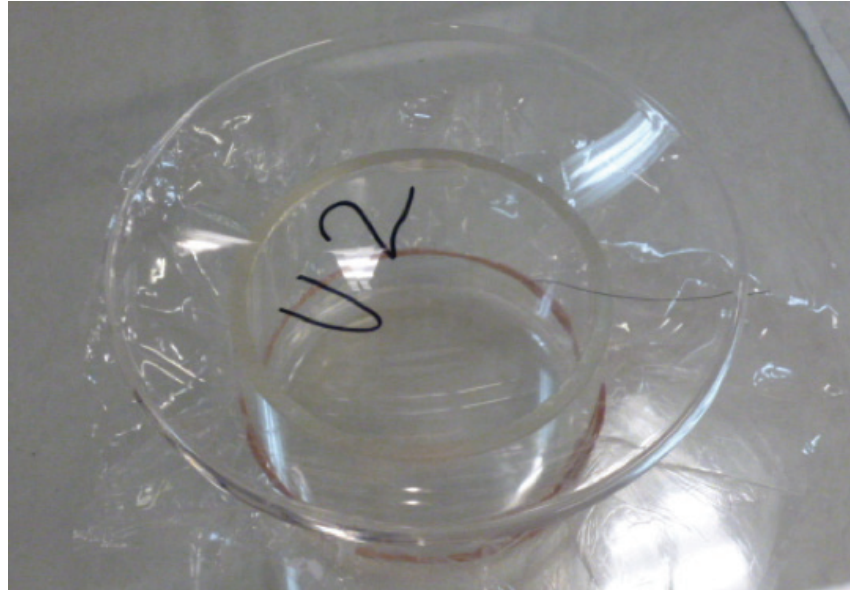


Figura 32. La película de PS obtenida servirá para hacer algunas pruebas con el material obtenido. Fuente: propia. La película obtenida tendrá unos mm de espesor.

Con la experiencia y conocimientos adquiridos en el Instituto de Investigación de materiales de la UNAM (bajo la supervisión del Dr. Zolotukhin) relacionados con el material y las buenas prácticas para su manejo, se procederá a efectuar las siguientes pruebas en el Posgrado de Diseño Industrial de la UNAM por cuenta de MD. I. Javier Fajardo y MD.I. Iroel Heredia.

**Fase II. Enriquecer dicho material agregándole un polímero inteligente para “hacerlo sensible a estímulos”; a dicho material se le llamara “PIR”-polímero inteligente reciclado.**

Al convertir el “PS” en un material sensible a estímulos, se espera que dicha característica lo haga interesante para su aprovechamiento post-consumo extendiendo su vida útil.

A continuación se explicará el desarrollo del método para la obtención de “compuesto polimérico sensible a estímulos” a partir de material reciclado a través de una prueba piloto.

Prueba piloto. Con base en los aciertos y desaciertos, se corregirán los aspectos necesarios para la obtención de un “material sensible a estímulos” fabricado a partir de EPS post-consumo.

**Hipótesis:**

¿Es posible enriquecer polímeros en el proceso de reciclado para darles propiedades de sensibilidad a estímulos?

**Objetivos:**

La siguiente guía tendrá como finalidad elaborar compuestos de polímeros reciclados con cargas que permitan la reacción a estímulos.

Se pretende que esta guía permita desarrollar nuevos materiales inteligentes a partir de polímeros reciclados. En esta primera fase se evaluarán las siguientes características con el fin de saber si estas influyen en el proceso de reciclaje del EPS:

- material cortado en finas tiras.
- material densificado usando una “prensa laminadora para joyería”
- presencia de fragmentos de alimentos y bebidas.
- proporción de los compuestos

**Recursos materiales**

- Manguera de silicona
- Guantes de nitrilo
- Disolvente
- Porta tubos de ensayo.
- Tubos de ensayo.
- Vidrio de reloj.
- Pera de succión.
- Pinzas de disección.
- Micrómetro
- Báscula.
- Careta para vapores orgánicos.
- Vaso de precipitados.
- Probeta graduada.
- Pipetas Pasteur.
- Embudos de vidrio.
- Un protocolo de comprobación.
- Una guía para anotar los resultados obtenidos.
- Poliestireno expandido. \*ver explicación elección del material.
- Polímero fotosensible.



Figura 33. Algunos implementos usados para realizar el aprovechamiento del material. Fuente: propia. Tubos de ensayo, pipetas diferentes tamaños, vasos de precipitados entre otros.



### Recursos espaciales.

Laboratorio de materiales del Posgrado en Diseño Industrial de la Universidad Nacional Autónoma de México, adaptado a los requisitos del experimento.

### Recursos humanos.

Dos personas quienes se encargaran de la ejecución de las pruebas de laboratorio.

### Posibles errores en la prueba.

Es importante conocer los principales errores que se pudieran cometer con el fin de evitarlos o hacer las modificaciones respectivas que hicieran en el proceso de experimentación. Las más sobresalientes son:

- Contaminación de muestras por comida proveniente de los vasos desechados.
- Contaminación de material reciclado por otros factores (implementos de laboratorio, partículas en el ambiente, grasa de las manos, impurezas en el disolvente)
- No conocer las reglas de manipulación de material de laboratorio.
- Usar el disolvente sin destilar, lo que puede alterar los resultados de las pruebas.
- No llevar un grupo de control, lo que permita comparar resultados.
- El material usado para el reciclado sea de diferente densidad y características, aunque sean del mismo fabricante.

### Medidas para no contaminar las muestras (variables no controladas-ruido):

- Usar siempre guantes en todo proceso de laboratorio.
- Usar pinzas de disección para manipular las muestras.
- Máscara de protección.
- Lavar muy bien el material de laboratorio (antes y después de cada prueba)
- Mantener los insumos guardados y protegidos del polvo.

### Cantidad de las muestras:

Definir el número de muestras. En este caso se harán 8 muestras de laboratorio, todas estas provenientes de las mismas secciones de los vasos con el fin de obtener un material con densidad similar.

### Recolección y preparación de la prueba.

En una primera etapa del proceso de reciclaje se trabajará solo con vasos porque son los que mayor densidad de material tienen (más cantidad de material comparado con otras piezas).

Como son vasos recolectados en sitios diferentes después de ser usados y desechados, los lotes de fabricación de los vasos aunque sean de la misma marca serán diferentes, reduciendo el riesgo de sesgo en la experimentación.

### Descripción del proceso de recolección del material:

1. Se recolectan los vasos para ser reciclados según las siguientes características:
  - usados.
  - capacidad de 8 oz. ó 237ml.
  - sin etiquetas de papel pegadas que impidan su reciclaje.
  - pueden estar serigrafiados (con el de propósito de comprobar si estas tintas influyen el proceso de enriquecimiento del material).
2. Se separan los vasos para su reciclaje por grupos según las siguientes características:
  - fabricante, Dart y Convermex (estas compañías son las más grandes de México). Las especificaciones de material pueden variar según el productor).
  - limpios (que no tengan residuos de alimentos).
  - usados (lavados)
  - serigrafiados.

### Descripción del proceso de preparación del material:

- 2.1 Una vez separados, los vasos sucios se deben limpiar. Se plantea usar una solución detergente con alta concentración de soda cáustica con el fin de limpiar los restos de comida que pueden contener.
- 2.2 Corte de los vasos: Aro superior e inferior de los vasos se retiran con el fin de tener un material homogéneo en su densidad.
- 2.3 Se corta el material resultante en trozos más pequeños o se densifica usando una laminadora de rollos planos, usualmente utilizada en joyería, que ejerce una presión de aproximadamente 40kg.





Descripción del proceso reciclaje para obtener material sensible a estímulos fabricado a partir de EPS post-consumo.

1. Se prepara la superficie de trabajo.
2. El material a ser reciclado se pesa.



**Figura 34.**  
Báscula digital. Fuente: propia.  
El peso del material es una variable muy importante pues define la cantidad de (ml) de solvente a usar. Porcentaje del material vs solvente.

3. Se introduce el material a ser reciclado dentro de un tubo de ensayo.



**Figura 35.**  
Todo el EPS debe quedar en el fondo del tubo de ensayo para facilitar que se disuelva.  
Fuente: propia. Para dicho proceso se pueda usar unas pinzas.

- Para cada uno de los grupos de vasos se debe hacer el proceso descrito anteriormente.

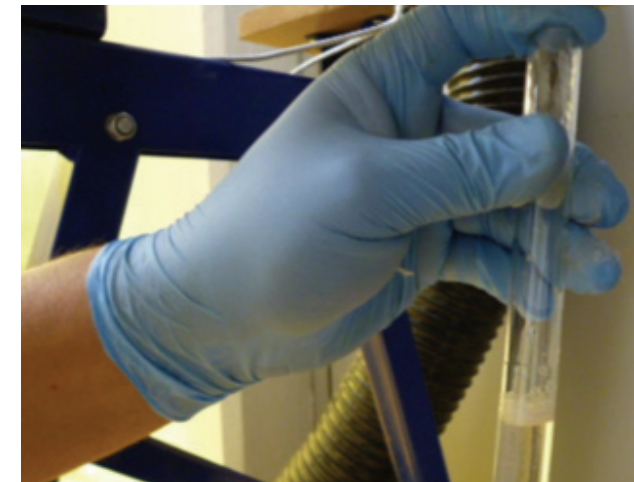
4. Se agrega la cantidad adecuada de disolvente según cálculos elaborados anteriormente y se agita hasta que no aparezcan más partículas en la mezcla.



**Figura 36.**  
Se debe agregar el disolvente usando guantes y en un ambiente dotado de extractores de olores ya que puede ser un compuesto nocivo para la salud.  
Fuente: propia.

Para cada uno de los grupos de vasos se debe hacer el proceso descrito anteriormente.

5. Se disuelve el polímero inteligente hasta volver la solución homogénea.
6. Se mezcla la solución de poliestireno expandido + la solución del polímero inteligente disuelto para formar una película.



**Figura 37.**  
En la pipeta deben quedar impurezas para no afectar la película. Fuente: propia

- Para cada uno de los grupos de vasos se debe hacer el proceso descrito anteriormente.



7. Se vierte la solución de “PS” (previamente poliestireno expandido) + la solución del polímero inteligente disuelto para formar una película en una caja de Petri.

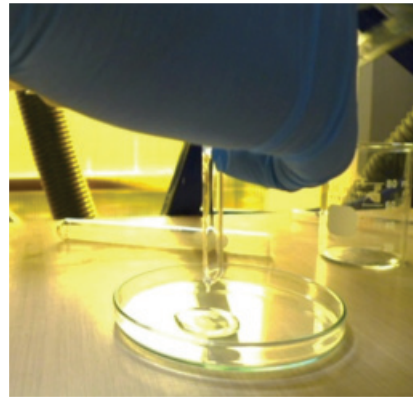


Figura 38.

La solución se tapa con un vidrio de reloj para que no se contamine la muestra. Se espera que en un plazo de 12h el disolvente se haya evaporado. Fuente: propia.

- Para cada uno de los grupos de vasos se debe hacer el proceso descrito anteriormente.
8. Obtención película de poliestireno expandido inteligente.

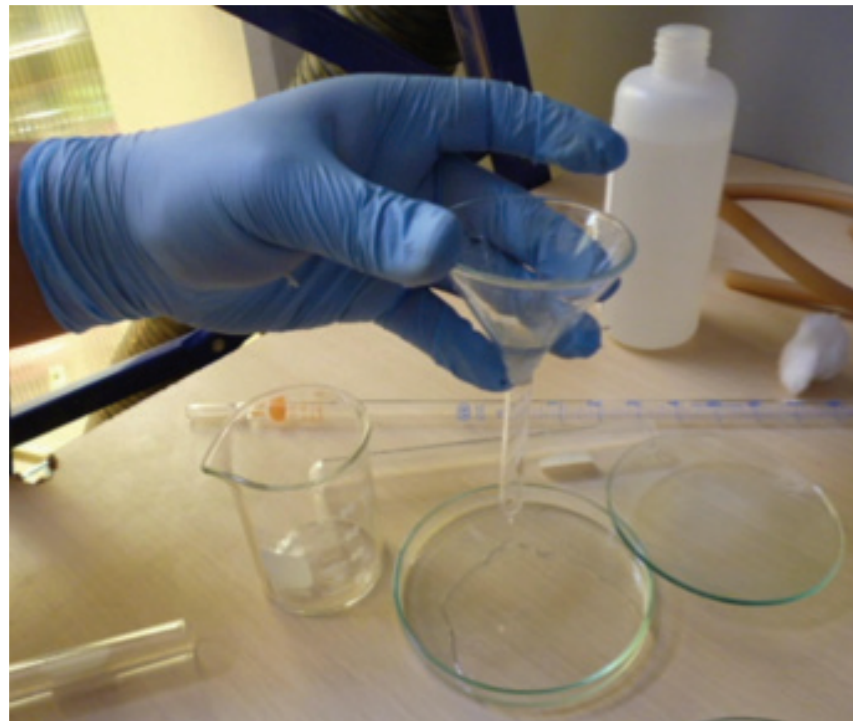


Figura 39.

La película obtenida tendrá solo unos mm de espesor, pero será suficiente para hacer pruebas de resistencia del material. Fuente: propia.

- Para cada uno de los grupos de vasos se debe hacer el proceso descrito anteriormente.

- **Variable independiente:**  
La calidad de las muestras y del solvente.

- **Variable dependiente:**  
Convermex y Dart, serán los fabricantes de los vasos seleccionados para realizar el experimento.
- La cantidad de ml. de disolvente y de los componentes.

**Variable fija:**  
En una primera fase el solvente (ml.) será la variable fija.

**Variable móvil:** La cantidad de material (gr.) y la cantidad de polímero inteligente (gr).

**Observación:** En fases siguientes se harán varias pruebas cambiando las cantidades para solvente, material reciclado y cantidad de polímero inteligente con el fin de determinar cuál es la mejor proporción.

#### Resultados

- Se anotarán los resultados teniendo en cuenta:
- Se pesará la muestra antes y después del proceso, con el fin de comprobar la eficiencia del reciclaje (pérdida de solvente).
- Se medirá la película (si es que se obtiene) para determinar su posible aplicación.
- Determinar si durante el reciclaje físico las propiedades del polímero se pierden.

#### Producción en volumen de PIR (Bulk Production)

Una vez obtenido el material a partir del EPS post-consumo y sensibilizado a estímulos, se deberá obtener el “PIR” en grandes volúmenes con el fin de producir objetos a partir del mismo, después de haber realizado pruebas de laboratorio con el fin de determinar propiedades mecánicas, ópticas y físicas.

#### Aplicación del “PIR”

Esta etapa será crucial pues permitirá identificar aplicaciones industriales para el material obtenido, usando el modelo de aprovechamiento para el EPS post-consumo desarrollado para este proyecto de investigación. Para dicha validación se pedirá a un grupo de diseñadores que “diseñen” un nuevo producto usando el modelo propuesto con el fin de:

- Comprobar que el modelo propuesto es válido para diseñar usando el material obtenido.
- Encontrar diferentes aplicaciones para el material, el cual se verá reflejado en el diseño de productos.



# cap. 6

## Resultados.

Los resultados conseguidos durante el desarrollo del presente proyecto de investigación se han dividido en 2 categorías, las cuales se especificarán más adelante:

### 6.1. REDUCCIÓN DE RESIDUOS. RECICLABILIDAD DEL MATERIAL.

Las conclusiones de esta fase se obtuvieron a través de las pruebas de laboratorio, realizadas con el material en el capítulo anterior.

- Cualquier producto fabricado de EPS es factible de reciclarse independiente de su procedencia (embalaje, construcción, alimentos, decorativos, etc.); sin embargo las propiedades mecánicas del mismo cambian porque su densidad es diferente.

Aunque en una primera fase de la experimentación se hizo solamente con vasos para bebidas calientes, en etapas posteriores se hicieron pruebas con piezas diferentes a los vasos con el fin de comprobar su grado de reciclabilidad.

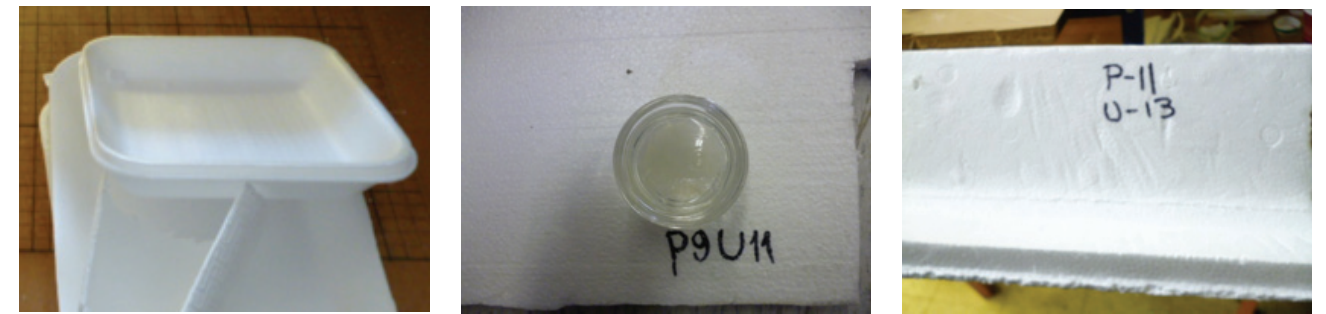


Figura 40.

Figura izquierda, charola para comida. Figura centro, perfil para embalaje de electrodomésticos (lavadora). Foto derecha, lámina de aislamiento para construcción. Fuente: propia. Prueba hecha con diferentes productos fabricados con este material.



Figura 41.

El material que se obtiene del reciclaje de productos hechos de EPS es transparente; al agregarse un sensibilizante a estímulos al compuesto, su apariencia cambia a “blanco lechoso”. Fuente: propia.

Conclusiones después del reciclaje

- Los rastros de comida en los productos impiden su reciclaje.
- Cualquier tipo de etiqueta adhesiva en los vasos impide su reciclaje, como el que se muestra a continuación:



Figura 42.

Vaso de 6oz. Producto Café “Gardello”. Fuente: propia. Las etiquetas de bond adheridas con pegamento al vaso impiden cualquier posible aprovechamiento.



- El polímero reciclado obtenido es posible volverse a reciclar con el fin de introducirse nuevamente en un nuevo ciclo de uso. A medida que los ciclos de reciclaje se incrementan las propiedades del material disminuyen. Esta condición se esperaba pues es una característica “típica del proceso de reciclaje”
- Existe cierta serigrafía en los vasos que impide que el material reciclado obtenido sea susceptible a estímulos; en otras palabras el cambio fotocromático es imperceptible. Se muestran algunas pruebas efectuadas con vasos de “7/11” donde no se obtuvieron buenos resultados.

Así mismo se hizo una prueba con vasos para bebidas calientes vendidos en “Oxxo” que tampoco permiten obtener un material sensible a estímulos



Figura 43. Fotografía izquierda, vaso de 6oz, producto “7/11”. Fotografía centro, vaso de 8oz, producto “7/11”. Fotografía derecha, vaso de 6oz “7/11”, producto “Oxxo”. Fuente: propia.

... Después del reciclaje de los vasos anteriores se obtiene un material como el que se aprecia en la siguiente fotografía.



Figura 44. Material “insensible a estímulos. El cambio fotocromático es imperceptible. Fuente: propia. Esta película proviene del “Vaso de 6oz, producto 7/11”

Se realizó otra prueba, donde se trató de obtener una película sensible a estímulos a partir de mezclar diferentes tipos de EPS (blancos y serigrafiados) tal y como se encontrarían en un centro de transferencia. Sin embargo la película obtenida tampoco fue susceptible a estímulos como se muestra a continuación.



Figura 45. Material “insensible” a estímulos, mezcla de diferentes vasos para bebidas. Fuente: propia. Esta película se obtuvo a partir de la mezcla de diferentes clases de productos fabricados con EPS.



Contrario a lo que se pensaba, con este vaso si fue posible obtener un material sensible a estímulos, se deduce que es por la composición química de la tinta, la cual se desconoce por ser considerada secreto industrial.



Figura 46.  
Vaso de 10oz.  
Fuente: propia.  
Producto “7/11”

Material obtenido a partir del reciclaje y enriquecido para ser sensible a rayos UV.

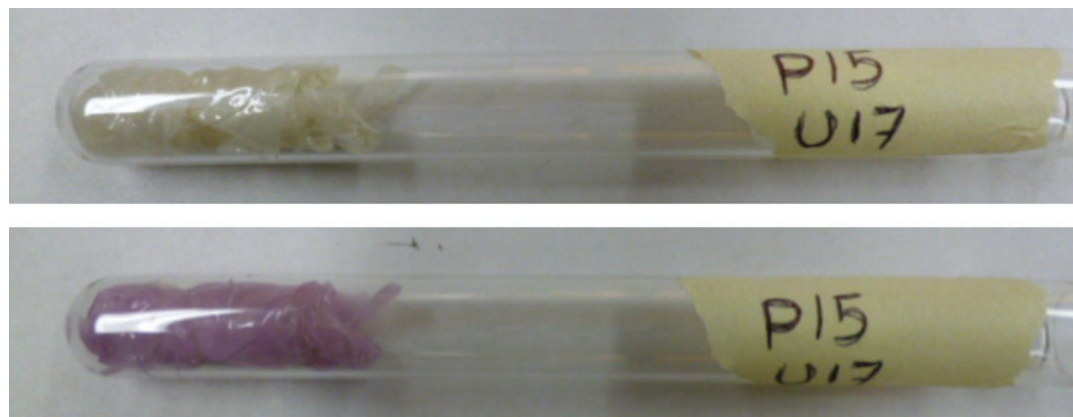


Figura 47  
El material sensible a rayos UV se torna rosa, a mayor concentración de estos más intenso será su color. Fuente: propia.

## » cap. 7

### Conclusiones.

El interés del tema de investigación de la presenta tesis, surgió como un cuestionamiento de su autor acerca del grado de responsabilidad que los diseñadores industriales tienen respecto al deterioro ambiental por ser parte de la cadena productiva y de consumo (industria, gobierno y usuarios).

Es por este cuestionamiento, que se decidió trabajar en campos que actualmente los diseñadores industriales no han profundizado, siendo algunos de estos: la gestión de residuos sólidos, (revalorización) y la experimentación con polímeros para encontrar nuevas aplicaciones.

Por la enorme complejidad y extensión del tema, se decidió enfocarse en particular por un material que no se aprovechara de forma masiva cuando su ciclo de vida llegara a su fin: el “EPS-unicel”-, con el propósito de indagar el porqué de esta situación y si sería posible cambiar dicha premisa; demostrándose a través de la experimentación en laboratorio que si es posible revalorizarlo con el propósito de fabricar nuevos productos a partir del mismo.



Una vez finalizado este proyecto, se generó una propuesta desde el diseño industrial para el aprovechamiento de este material, -hasta el momento desechado sin mayor aprovechamiento -, al contemplar todas las variables presentes en el ciclo de vida del producto: diseño, manufactura, consumo, desecho, clasificación y revalorización; proponiendo un modelo cíclico donde no existiera el concepto de “desperdicio”.

Una vez finalizado el presente trabajo se llegó a una serie de conclusiones, mismas que sé que se han dividido en las siguientes categorías con el fin de evidenciar los avances y logros obtenidos con dicha investigación:

- Desde el diseño industrial.
- Nuevas investigaciones.
- Para el ambiente.
- El material desarrollado.

Aunque el camino que México ha recorrido en lo relacionado con el aprovechamiento de residuos y su gestión ha sido importante, aún queda mucho camino por recorrer; siendo de mucha trascendencia, no sólo para el país sino para el ambiente, que este tipo de proyectos de investigación continúen, propiciando su conceptualización y ejecución con el fin de impactar positivamente en el entorno.

#### **CONCLUSIONES: DESDE EL DISEÑO INDUSTRIAL.**

- \* Hubo un cambio de paradigma pues hasta el momento esta disciplina mayormente se había enfocado en diseñar productos y servicios; sin embargo este trabajo de investigación evidenció que también es posible diseñar sistemas complejos y a gran escala. El resultado, fue la generación de un modelo de aprovechamiento para el “EPS post-consumo” que fue el resultado de un trabajo previo consistente en siete alternativas, las cuales evolucionaron desde las más sencillas (modelos de consumo y aprovechamiento lineal) hasta llegar a este modelo complejo. Dicho modelo fue validado por tres diseñadores industriales.
- \* El campo de investigación sobre al aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos es relativamente nuevo desde la perspectiva del diseño industrial, por lo tanto se hace necesario que este tipo de investigaciones continúen con el propósito de generar mayor conocimiento y responsabilidad sobre la gestión de otros residuos por parte del diseñador, propiciando la revalorización de los mismos por medio de soluciones innovadoras generando una reducción de los mismos.

- \* Basado en los modelos de diseño industrial, se propuso un modelo de aprovechamiento para el “EPS” post-consumo de carácter cíclico, es decir no existe el concepto de desperdicio (el ciclo de vida de la mayoría de materiales y productos es lineal porque el residuo de un ciclo de vida, se transforma en materia prima para manufacturar nuevos productos. En dicho modelo se contempló las fases del ciclo de vida del producto: consumo, desecho, acopio, discriminación de residuos, preparación del material, reciclaje y diseño-desarrollo de producto.

- \* El anterior modelo fue diseñado para su aplicación inmediata en la Ciudad de México; sin embargo se espera que este pueda servir como referente para gestionar diferentes tipos de residuos en distintas zonas del país, (después de hacerle las respectivas modificaciones a que diera lugar); al contemplar, por ejemplo: cantidad de residuos generados, separación, clase de residuo, infraestructura, departamento de limpieza, cultura ciudadana, compromiso gubernamental, presupuesto, normatividad, entre otros aspectos.

#### **CONCLUSIONES: NUEVAS INVESTIGACIONES.**

- \* Se hace necesario que desde la perspectiva del diseño industrial se investigue sobre otras áreas del conocimiento, con el fin de generar mayor conocimiento en campos no explorados como gestión de residuos y nuevas aplicaciones con polímeros.
- \* En el campo de la investigación sobre polímeros, estaba supeditada a estudio por áreas de conocimiento como ingenierías o química; sin embargo se demostró que el diseño industrial también podrá hacer investigación sobre este tema, ya que propiciará un mejor entendimiento del tema y permitirá una mejor comunicación con otros profesionistas, al generar un lenguaje común para cada una de las disciplinas involucradas, situación que permitirá una comunicación más fluida.
- \* Se espera que dicho proyecto de investigación pueda ser tomado como referencia para que otros diseñadores industriales se involucren y trabajen en el campo de gestión de residuos sólidos, tema que apenas comienza a tomar la trascendencia que debería tener en el país.



- \* También se abre una nueva línea de investigación para el diseño y desarrollo de máquinas de bajo costo que permitan el aprovechamiento de materiales post-consumo, enfocadas específicamente para el mercado mexicano.

#### CONCLUSIONES: AMBIENTE.

- \* El “EPS-unicel” si es susceptible de ser reciclado en su gran mayoría cuando el ciclo de vida llega a su fin; por lo tanto puede ser revalorizado con el fin de manufacturar otros productos a partir del mismo; esto trae efectos positivos para el ambiente porque hay un mejor aprovechamiento de la materia prima, -en especial energía-
- \* Al propiciarse un mejor aprovechamiento del EPS post-consumo se disminuyen los impactos ambientales nocivos pues se evita que el material sea mal dispuesto al aire libre, en cuerpos de agua o en la tierra, -situación que afecta a plantas y animales; de igual forma, se reduce la cantidad de que son confinados en rellenos sanitarios, aumentando la vida útil de estos lugares.

#### CONCLUSIONES: EL MATERIAL.

- \* Se demostró la capacidad del EPS de ser reciclado, usando una tecnología de baja complejidad y costo.
- \* Se obtuvieron películas con diferentes especificaciones en cuanto a dimensiones (espesor y extensión)
- \* Las pruebas de laboratorio del material obtenido demostraron que las propiedades mecánicas son buenas para un material proveniente de un poliestireno.
- \* Se evidenció la versatilidad del material obtenido para ser preparado con gran cantidad de aditivos, lo que se traduce en su capacidad para ser “sensibilizado a estímulos” pudiendo convertirse en un material fotocromático, termocromático entre otras características.

## » cap. 8

### Recomendaciones.

Después de haber finalizado esta investigación se hacen las siguientes recomendaciones con el fin que sean consideradas por las diferentes entidades gubernamentales involucradas en el tema como “Semarnat”, -Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-, “Profepa”, -Procuraduría Federal de Protección al Ambiente-, y otras entidades territoriales como “Sedema”, -Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.

Si bien las siguientes recomendaciones no son de obligatorio cumplimiento, se espera que sean consideradas por los interesados en el tema, con el propósito que sean un punto de partida para la gestión de residuos sólidos, -especialmente los polímeros- en México.

Cómo se ha mencionado en esta investigación, la responsabilidad es extendida involucrando a gobierno, industria y usuarios, es por esto que para cada uno de los actores involucrados se plantean las siguientes acciones:



### Gobierno:

- Implementación de modelos de gestión de residuos específicos para cada material producto y/o servicio desechado con el fin de propiciar la revalorización post-consumo de los mismos al contemplar: separación de residuos, clasificación, acopio, transporte y revalorización.
- Se sugiere la creación de un impuesto llamado “ecotasa”, que será pagado únicamente por los fabricantes y productores sin trasladar sobre precios a los consumidores, con el fin de asegurar recursos económicos para la puesta en marcha del modelo de aprovechamiento para el EPS post-consumo. Este gravamen que se cobra en Europa, tiene el propósito de asegurarse que las empresas se vean obligadas a disponer adecuadamente de sus productos cuando estos lleguen al final de su vida útil.
- Se requiere un mayor compromiso por parte del gobierno mexicano en lo relacionado con el cumplimiento de lo consignado en las leyes existentes:

En “Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos”, donde se habla acerca de:

- Las políticas de valorización, el desarrollo de sistemas de gestión integral de desechos.
- Las responsabilidades de los productos, importadores, exportadores, comerciantes, consumidores y demás entes respecto al manejo integral de residuos.
- La participación responsable de todos los sectores sociales en las acciones para prevenir la generación de residuos sólidos urbanos.

En la “NORMA Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo”<sup>40</sup>.

40. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO3015.pdf>

Dicha norma carece de fundamentos técnicos en cuanto a:

- No discrimina los diferentes tipos de residuos por categorías específicas, por ejemplo el “PP”, PVC”, “PEAD” y “PC” son considerados en la misma clasificación cuando se deberían disponer de formas diferentes porque sus características son distintas y por ende su aprovechamiento. Así mismo, en esta misma norma se contemplan también otros residuos los desechos hospitalarios.

Por otra parte en la NOM-161-SEMARNAT-2011 no se menciona:

- El ciclo de vida del material ni del producto.
- Características y especificaciones diferenciadas para cada material en lo referente a: acopio, transporte, revalorización, manufactura.
- No compromete a los diferentes fabricantes para que reporten su producción y de esta forma generar modelos de gestión para dichos residuos (responsabilidad para el ciclo de vida del material y/o producto).
- No contempla buenas prácticas en lo referente al material con el fin de permitir que el material sea revalorizado nuevamente cuando su primer ciclo de vida llegue a su fin.
- La normatividad actual propicia que el mercado de reciclaje y aprovechamiento de los residuos sea informal, pues no está regulado por la Semarnat u otro organismo; dicha responsabilidad se deja a cada estado de la república para que efectúe dichas actividades. Por lo tanto se hace necesario la creación de un ente no gubernamental de carácter privado financieramente sostenible que lleve dichas estadísticas y se encargue de la gestión de residuos en cada uno de los diferentes estados.
- Existe el Inventario de Residuos Sólidos realizado por la Comisión de Residuos Sólidos del DF, el cuál era realizado todos los años con el propósito de tener registros de la cantidad de desperdicios que se generaban en la ciudad y la eficacia de las acciones en torno a la disminución de las mismas; sin embargo debido al cambio de gobierno, - de Marcelo Ebrard a Miguel Ángel Mancera -, esta comisión dejó de existir y el trabajo realizado ha quedado olvidado.





### Industria:

- Se requiere un mayor compromiso de la industria con el fin de hacerse responsable, no sólo por sus desperdicios o emisiones en el proceso de fabricación o manufactura, sino también por sus productos y/ o servicios cuando estos lleguen al final de su primer ciclo de vida útil. Conviene la implementación de herramientas como el ecodiseño como una estrategia para la mitigación de impactos nocivos en el ambiente propiciando un aprovechamiento de los recursos y por ende una revalorización de los productos.
- Implementación de buenas prácticas con el material que permitan su revalorización.
- Conceptualización y ejecución de modelos de gestión específicos para cada material, producto y/ o servicio.

### Usuario:

- Preferir productos y/ o servicios responsables ambientales, esto es con menores impactos nocivos al ambiente.
- Separar los residuos según lo especifique el gobierno con el propósito de facilitar el aprovechamiento de los residuos.
- Cambio de pensamiento respecto al consumismo, reducir la cantidad de residuos que cada persona genera al día.

### Bibliografía

- AAPE. Asociación Argentina del Poliestireno Expandido. [www.aape.com.ar](http://www.aape.com.ar)
- Aislantes Industriales de Monterrey. AIMSAs. [www.aimsa.com/tecnicos.htm](http://www.aimsa.com/tecnicos.htm)
- Asociación Nacional de Poliestireno Expandido. (2012). ANAPE [www.anape.es/EPS%20en%20los%20medios/Tratamiento\\_de\\_los\\_residuos\\_de\\_EPS\\_%28Parte\\_I%29-Residuos\\_%28Julio\\_2011%29.pdf](http://www.anape.es/EPS%20en%20los%20medios/Tratamiento_de_los_residuos_de_EPS_%28Parte_I%29-Residuos_%28Julio_2011%29.pdf)
- Aniq. (2014). Asociación Nacional de la Industria Química. Tomado de: [www.aniq.org.mx](http://www.aniq.org.mx)
- Cámara de Diputados. LXII Legislatura. (2012). Gaceta Diputados. Tomado de: <http://gaceta.diputados.gob.mx/Black/Gaceta/Anteriores/61/2011/abr/20110407-IV/DictamenPunto-8.html>
- Capuz, S. (2004). Ecodiseño. Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles. México, D.F.: Alfaomega.
- Cortés, F. P. (2003). Lo material y lo inmaterial en el arte-diseño contemporáneo. Materiales, objetos y lenguajes virtuales. México: Universidad Nacional Autónoma Metropolitana.
- Cortinas de Nava, Cristina. (2008). Ecologismo Ambientalismo Sustentabilidad. Tomado de: [www.cristinacortinas.net](http://www.cristinacortinas.net)
- Cram, C. S. (2012). Curso: Degradación y contaminación de suelos México D.F. : Posgrados en Ciencias de la Tierra, Ciencias Biológicas, Ingeniería Ambiental.
- Crónica del Poder. (2012). Crónica del poder.com. De política, empresa y más. Periodismo Plural. [www.cronicadelpoder.com/vida-universitaria/201103/ingenieros-reutilizan-unicel-para-reforzar-concreto](http://www.cronicadelpoder.com/vida-universitaria/201103/ingenieros-reutilizan-unicel-para-reforzar-concreto).
- de la Tijera Coeto, E. (2010). ¿Por qué el reciclaje de plásticos es importante para el medio ambiente? Plástico. Información técnica y de negocios para la industria plástica en América Latina.



- Decreto por el que se aprueba el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (Segunda Sección. Poder ejecutivo. SEMARNAT 2009).
- EPS. Economy Performance Group. (2012, 15-mayo). British Plastic Federation. Tomado de: [www.eps.co.uk/pdfs/seafish\\_key\\_features.pdf](http://www.eps.co.uk/pdfs/seafish_key_features.pdf)
- European Manufacturers of EPS. . (2012). Geosolmax. From [http://www.geosolmax.es/content/documentos\\_tecnicos\\_certificaciones/eps.pdf](http://www.geosolmax.es/content/documentos_tecnicos_certificaciones/eps.pdf)
- Fusco, R. d. (2005). Historia del Diseño. Barcelona: Santa Ana & Cole Publicaciones.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. (2010). Residuos Sólidos Tomado de: [www.residuossolidos.df.gob.mx/work/sites/tdf\\_rs/resources/LocalContent/54/2/PGIRS.pdf](http://www.residuossolidos.df.gob.mx/work/sites/tdf_rs/resources/LocalContent/54/2/PGIRS.pdf)
- García Parra, B. (2008). Ecodiseño, nueva herramienta para la sustentabilidad. Ciudad de México: Designio.
- Grupo Milenio. (2012). Milenio. Tomado de: [www.milenio.com/cdb/doc/noticias2011/3591372491d94760e2ccb7045a5ddoe7](http://www.milenio.com/cdb/doc/noticias2011/3591372491d94760e2ccb7045a5ddoe7)
- Grupo Reforma. (2011). Reducen basura de unicef. Tomado de: [www.reforma.com](http://www.reforma.com)
- Iniciativa que reforma y adiciona diversas disposiciones de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos., D.G.P.L.61-II-4-663. (Mesa Legislativa LXI. Legislatura. 2010).
- Jepsa. (2012). Japan Expanded Polystyrene Association. [www.jepsa.jp](http://www.jepsa.jp)
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (Honorable Congreso de la Unión. 2003). Tomado de: [gaceta.diputados.gob.mx/Black/Gaceta/Anteriores/61/2011/abr/20110407 IV/DictamenPunto-8.html](http://gaceta.diputados.gob.mx/Black/Gaceta/Anteriores/61/2011/abr/20110407 IV/DictamenPunto-8.html)
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2007).
- Mackenzie, D. (2007). Green Design: Design for the Environment. Laurence King Publishing.
- MatWeb. (2014). MatWeb: Online Materials Information Resource. Tomado de [www.matweb.com](http://www.matweb.com)
- México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2008): [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2011). Computadores para educar. Informe de alcances de proyecto, Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Bogotá.
- Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda. (2004). Guías Ambientales. Sector Plásticos. Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y Manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Bogotá, Colombia.
- ONU. Organización de las Naciones Unidas. (2008). Objetivos de desarrollo del Nuevo Milenio.
- Parlamento del Uruguay. (2012). Poder Legislativo. Montevideo, Uruguay. Tomado de: [www.parlamento.gub.uy/leyes/ AccesoTextoLey.asp?Ley=17849&Anchor=](http://www.parlamento.gub.uy/leyes/ AccesoTextoLey.asp?Ley=17849&Anchor=)
- Paul Hawken, A. L. (1999). Natural Capitalism. United States of America: Rocky Mountain Institute of America.
- Pizzocaro, S. (1991). La larga vida del producto en modo #136.
- Plettner Rutishauser, A., & Ramírez Flores, G. (2011). El poliestireno expandible (EPS) y el medio ambiente. Plástico. Información técnica y de negocios para la industria plástica en América Latina.
- Proyectos Integrales Ecológicos, S.A. de C.V. (2012). Piesa. [www.piesa.com.mx](http://www.piesa.com.mx)
- Recimex. (2012) [www.recimex.com.mx](http://www.recimex.com.mx)



- Revista IDE. Información del Envase y Embalaje. (2011). ¿Qué es el EPS? Revista IDE. Información del Envase y Embalaje, 6,7.
- Rubin, I. (2004M). Materiales Plásticos, Propiedades y Aplicaciones. México, D.F.: Limusa.
- Secretaria de Medio Ambiente del Distrito Federal. (2012). El Portal de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. [www.sma.df.gob.mx/sma/index.php](http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php)
- UNAM. (2012). Dirección General de Comunicación Social. Tomado de: [www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2009\\_418.html](http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2009_418.html)
- Universidad Autónoma de Madrid. (2013). Tomado de: [www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/joaquina/BOXES\\_CCAA/que\\_es\\_un\\_modelo.htm](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/joaquina/BOXES_CCAA/que_es_un_modelo.htm)
- [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov). (2012). National Aeronautics and Space Administration. From [www.nasa.gov/topics/aeronautics/features/tr1\\_508.html](http://www.nasa.gov/topics/aeronautics/features/tr1_508.html)
- [www.product-life.org/en](http://www.product-life.org/en). (2011). The Product-Life Institute. Product-Life Institute, Geneve.

## Anexo 1: Definiciones

**Acopio:** acción de reunir los residuos de una o diferentes fuentes para su manejo.<sup>41</sup>

**Aprovechamiento de los Residuos:** Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundarios o de energía.<sup>42</sup>

**Basura:** son los residuos sólidos que al mezclarse pierden posibilidades de ser utilizados o reciclados<sup>43</sup>; sin embargo con un adecuado tratamiento (proceso mediante el cual se cambian las características de los residuos sólidos reduciendo su peligrosidad o volumen mediante procesos físicos, químicos, mecánicos, biológicos y térmicos) mucha basura podría ser aprovechada transformándose en productos o materiales con un valor.

41. (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, 2007)

42. (IBID 2)

43. (Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal, 1997)



**Biodegradable:** Se refiere a aquellos productos que se descomponen en contacto con el entorno natural a través de factores ambientales o en presencia de microorganismos, permitiendo que sus compuestos químicos nocivos se neutralicen.

**Centro de acopio de residuos peligrosos:** instalación autorizada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) para la prestación de servicios a terceros en donde se reciben, reúnen, trasvasan y acumulan temporalmente residuos peligrosos para después ser enviados a instalaciones autorizadas para su tratamiento, reciclaje, reutilización, o procesamiento o disposición final.<sup>44</sup>

**Ciclo de vida:** Proceso que abarca desde la generación hasta el desecho o fin de la vida útil de los productos y servicios.<sup>45</sup>

**Ciclo de vida de los productos:** Son las fases por las cuales pasa un producto, desde la obtención de materias primas, diseño, desarrollo, comercialización, distribución y uso hasta que es desechado o llega al fin de su vida útil.

**Desarrollo sustentable:** Fue un concepto desarrollo en el informe “Bruntland, Our Common Future” (1987) donde se hace alusión al desarrollo actual que no compromete los recursos de las generaciones futuras sin poner en riesgo su subsistencia.

**Diseño sustentable:** Se refiere al diseño asociado con el desarrollo sustentable, donde las soluciones planteadas deben responder a tres condicionantes esenciales: ambiente, sociedad y economía.

**EPS:** El estireno es el monómero que se utiliza en la manufactura del poliestireno expandido, o también llamado en México unicele por su nombre comercial. El “EPS”, por sus siglas en inglés “Expanded poly-styrene” se define técnicamente como: material plástico celular y rígido, fabricado a partir del moldeo de perlas pre expandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire.<sup>46</sup>

44. (IBID 7)

45. (García Parra, 2008)

46. (Revista IDE. Información del Envase y Embalaje, 2011)



**Figura 48**  
Perlas pre expandidas de EPS. Fuente: [http://2.bp.blogspot.com/\\_qmNkWyJqWaA/SWznnZiqQQI/AAAAAAAAADo/NTeUZUJ4AXU/s1600-h/perlita\\_suelta.jpg](http://2.bp.blogspot.com/_qmNkWyJqWaA/SWznnZiqQQI/AAAAAAAAADo/NTeUZUJ4AXU/s1600-h/perlita_suelta.jpg)

Este material fue inventado en la década de 1950 por varias compañías entre las que se encuentran Basf y Dow<sup>47</sup>, haciéndose muy apetecido en poco tiempo debido a sus excelentes cualidades referentes a la poca conductividad térmica, elevada resistencia a la compresión y excelente amortiguación; todas estas características lo llevaron a ser utilizado principalmente en el embalaje, la construcción y contenedor de comidas rápidas.

Es un plástico 100% reciclable, termoestable, rígido celularmente, formado por millones de celdas rellenas de aire entre 90% y 98% aproximadamente, compuesto básicamente por perlas de poliestireno y un agente expansor que puede ser: pentano- hidrocarburo sólido C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>, isopentano C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> o Ciclopentano C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>. y dióxido de carbono CO<sub>2</sub>.

El EPS no afecta la capa de ozono porque en su proceso de fabricación no utiliza ningún gas de la familia de los CFC's, HCFC's; así mismo, en la producción de vasos con este material, se consume: 20% menos de energía, reduciendo en 19% los gases de efecto invernadero y utilizando 1000 veces menos agua-oxígeno<sup>48</sup>.

El proceso mediante el cual el poliestireno se transforma en diversos productos está compuesto por tres etapas:

*Primer paso: Pre expansión.* La materia prima se calienta con máquinas pre-expansoras usando vapor de agua a una temperatura que oscila entre 80°C y 110°C. Según la temperatura y el tiempo de exposición, las perlas compactas de poliestireno expandido se convierten en perlas de plástico celular con burbujas de aire en su interior; donde la densidad del material disminuye de 630kg/m<sup>3</sup> a 10 o 30kg/m<sup>3</sup>

47. (Rubin, 2004M)

48. (Plettner Rutishauser & Ramírez Flores, 2011)



*Segundo paso:* Reposo intermedio y estabilización. Cuando las partículas recién expandidas se enfrían crean en su interior un vacío que se debe llenar con aire por difusión; así las perlas mejoran sus propiedades mecánicas y físicas. La expansión de las perlas se realiza en silos ventilados, donde a su vez se secan; a esta etapa se le conoce como reposo intermedio. Al finalizar dicho paso, las perlas expandidas se estabilizan y esperan para seguir el último paso.

*Tercer paso:* Expansión y moldeo final. Las perlas se transportan a un recipiente donde se les inyecta vapor de agua, en este paso las perlas se sueldan unas con otras obteniéndose grandes bloques de material que a su vez se pueden transformar en un gran número de formas.

**Gestión Integral de Residuos:** Conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.<sup>49</sup>

**Inventario de Residuos:** Base de datos en la cual se asientan con orden y clasificación los volúmenes de generación de los diferentes residuos, que se integra a partir de la información proporcionada por los generadores en los formatos establecidos para tal fin, de conformidad con lo dispuesto en este ordenamiento.<sup>50</sup>

**Reciclaje:** Consiste en transformar los materiales que fueron descartados por medio de procesos industriales que permitan elaborar nuevos productos o materiales; de esta forma se obtienen múltiples beneficios económicos, sociales y ambientales.

**Reutilizar:** Consiste en usar el material o producto para otra función después que su primera vida útil termina, usando procesos industriales.

**Reducir:** Uso racional de cualquier material usado para la fabricación de productos. Reducción del material usado en embalajes y envases, con esto se logra reducir el peso

49. (México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales., 2008)

50. (IBID 7)

**Residuos:** “se pueden entender como todo aquello que se genera a partir de un proceso de transformación, consumo, limpieza o fabricación que carece de valor o utilidad para la fuente emisora”<sup>51</sup>. De acuerdo con su lugar de emisión y características los residuos se pueden clasificar en:

**Residuos de manejo especial:** Son aquellos que requieren planes de control y manejo específico con el fin de disponer de ellos de una manera adecuada y controlada evitando el mayor impacto ambiental posible. En esta categoría se contemplan la familia de los plásticos, neumáticos usados, residuos electrónicos, componentes automotrices entre otros.

**Residuos urbanos:** Son los que se generan en cualquier tipo de unidad habitacional, así como también en la limpieza de áreas públicas siempre y cuando no entren en la categoría de residuos de manejo especial. Resultantes, por ejemplo de barrer, banquetas o el hogar.

**Residuos orgánicos:** están compuestos principalmente por residuos de comida o plantas. Su principal característica es su biodegradabilidad. Por ejemplo comida, cascaras de frutas y verduras

**Residuos inorgánicos:** son todos aquellos que puedan ser sometidos a un proceso de re-valorización a través de reutilización y reciclaje siempre y cuando no entren en la categoría de residuos de manejo especial. Por ejemplo latas de refrescos, periódicos, revistas entre otros.

**Residuos sanitarios:** son todos aquellos que contengan algún tipo de secreción del cuerpo. Por ejemplo pañales de bebés, material de curación entre otros.

**Residuo sólido:** residuos clasificados como no especiales que con un tratamiento adecuado se puedan volver a aprovechar o requieran de métodos para su disposición final. Por ejemplo empaques de comidas, bebidas entre otros.

**Residuos Sólidos Urbanos:** Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares

51. (IBID 2)



públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole.” Los residuos sólidos urbanos podrán subclasificarse en orgánicos e inorgánicos con objeto de facilitar su separación primaria y secundaria, de conformidad con los Programas Estatales y Municipales para la Prevención y la Gestión Integral de los Residuos, así como con los ordenamientos legales aplicables.<sup>52</sup>

Suelo: Cuerpo natural producto de la interacción de los factores formadores del suelo, es decir de los procesos pedogenéticos (proceso de formación del suelo), intemperismo (acción de degradación que incluye la desintegración y la alteración química de las rocas) y la neoformación de minerales (formación de nuevos minerales por medio de la alteración de otros), descomposición y humidificación de la materia orgánica, formación de estructura, translocación de materia (intercambio de orden de los diferentes segmentos del suelo), uso y manejo por el hombre. Es frágil, no renovable en escalas de tiempo humanas, está sujeto a la degradación bajo prácticas de manejo arbitrarias.<sup>53</sup>

52. (IBID 7)

53. (Cram, 2012)

## Anexo 2: Propiedades mecánicas del material obtenido.

Las propiedades mecánicas del material obtenido “PIR”, -Polímero Inteligente Reciclado-, no son sobresalientes debido a que las cadenas poliméricas del material del que provienen (EPS) poseen bajas propiedades, debido a que se buscó un mayor porcentaje de aprovechamiento del uniceL, no se agregó otros materiales (cargas) que mejorarán dichas propiedades.

En laboratorio se obtuvo 2 muestras diferentes de “PIR” provenientes de diferentes productos fabricados de uniceL:

- Muestra 1 (U16) obtenida de charolas, vasos y diferentes tipos de embalaje.
- Muestra 2 (U15) muestra que había sido previamente reciclada proveniente de charolas, vasos y diferentes tipos de embalaje. Se efectuó esta prueba con el fin de conocer si el material reciclado pierde propiedades respecto a materia prima virgen que no ha sido tratada.



Dicho trabajo de experimentación se realizó de forma conjunta con MDI Iroel Heredia (maestro en diseño industrial por la UNAM) de la como parte de su proyecto de investigación “Aplicación de los polímeros inteligentes en el Diseño Industrial. A continuación se incluirán los resultados de las pruebas efectuadas, mismas que se realizaron en el Instituto de Investigación de materiales de la UNAM.

Se incluirá un comparativo entre las muestras de material obtenido vs material comercial con el fin de contrarrestar propiedades.

**Prueba 1.** Polímero inteligente reciclado “PIR”,- Polímero Inteligente Reciclado-, proveniente de charolas, vasos y embalaje (mixto).

**Identificación muestra: U16. Reciclaje de material mixto**

Nº. Método ensayo: 10  
 Polímeros (poliésteres)  
 Fecha de ensayo: martes, 21 de mayo de 2013.  
 Tipo de interfaz: 5500  
 Velocidad de cruceta: 10.000 mm/min  
 Segunda velocidad 0.0000 mm/min  
 Tercera velocidad: 0.0000 mm/min  
 Frecuencia de muestreo (pto/s) 1.0000  
 Temperatura: 73F  
 Humedad (%) 50  
 Dist.ent mord 26.0000 mm  
 D.I. probeta 25.400 mm

	Tensión en la carga max. (MPa)	Módulo (YoungAut) (MPa)	Tensión carga última (MPa)	Deformación % carga última (%)	Deformación % en la carga max. (%)	Deformación máxima (mm/mm)	Carga en punto rotura automático (kN)	Tensión en punto rotura automático (MPa)	Carga en la carga máxima (kN)	Desplazamiento en la carga máx. (mm)	Deformación en la carga máx. (mm/mm)	Tenacidad (MPa)
1	22.027	898.013	22.027	2.267	2.627	0.033	0.024	22.027	0.024	0.667	0.026	0.234
2	17.502	673.685	17.502	2.625	2.625	0.033	0.015	17.502	0.015	0.667	0.026	0.148
3	15.559	579.739	15.559	3.282	3.282	0.039	0.019	15.559	0.019	0.834	0.033	0.120
4	17.031	673.054	17.031	2.625	2.625	0.066	0.010	10.850	0.016	0.667	0.026	0.262
5	18.053	953.713	18.053	1.970	1.970	0.026	0.018	18.053	0.018	0.500	0.020	0.140
Media	18.034	755.641	18.034	2.626	2.626	0.039	0.017	16.798	0.018	0.667	0.026	0.181
D.E.	2.417	161.231	2.417	0.464	0.464	0.015	0.005	4.072	0.004	0.118	0.005	0.063
C.V.	13.401	21.337	13.401	17.672	17.672	39.066	30.262	24.241	19.918	17.672	17.672	34.817
Mediana	17.502	673.685	17.502	2.625	2.625	0.033	0.018	17.502	0.018	0.667	0.026	0.148
Media +2.00 DE	22.868	1078.102	22.868	3.554	3.554	0.070	0.028	24.942	0.026	0.903	0.036	0.306
Media -2.00 DE	13.201	433.180	13.201	1.698	1.698	0.009	0.007	8.654	0.011	0.431	0.017	0.055
Mínimo	15.559	579.739	15.559	1.970	1.970	0.026	0.010	10.850	0.015	0.500	0.020	0.120
Máximo	22.027	953.713	22.027	3.282	3.282	0.066	0.024	22.027	0.024	0.834	0.033	0.262

**Tabla 18.** Tabla de propiedades del material obtenido proveniente de reciclaje de EPS mixto (vasos, charolas, embalaje). Fuente: Instituto de Investigación de Materiales de la UNAM. Elaboración: propia. La columna extrema izquierda contiene el número de pruebas efectuadas, incluyendo medias, mínimos y máximos.

**Prueba 2.** Polímero inteligente reciclado “PIR”, proveniente de charolas. Este material ya fue sometido a una fase de reciclaje con el fin de conocer si este proceso afectaba las propiedades del material.

**Identificación muestra: U15. Reciclaje en segunda fase.**

Nº. Método ensayo: 10  
 Polímeros (poliésteres)  
 Fecha de ensayo: martes, 21 de mayo de 2013.  
 Tipo de interfaz: 5500  
 Velocidad de cruceta: 10.000 mm/min  
 Segunda velocidad 0.0000 mm/min  
 Tercera velocidad: 0.0000 mm/min  
 Frecuencia de muestreo (pto/s) 1.0000  
 Temperatura: 73F  
 Humedad (%) 50  
 Dist.ent mord 26.0000 mm  
 D.I. probeta 25.400 mm

	Tensión en la carga max. (MPa)	Módulo (YoungAut) (MPa)	Tensión carga última (MPa)	Deformación % carga última (%)	Deformación % en la carga max. (%)	Deformación máxima (mm/mm)	Carga en punto rotura automático (kN)	Tensión en punto rotura automático (MPa)	Carga en la carga máxima (kN)	Desplazamiento en la carga máx. (mm)	Deformación en la carga máx. (mm/mm)	Tenacidad (MPa)
1	36.980	2220.312	36.980	3.282	3.282	0.039	0.011	36.980	0.011	0.834	0.033	0.454
2	17.448	513.598	17.448	3.282	3.282	0.039	0.010	17.448	0.010	0.834	0.033	0.144
3	9.054	447.896	9.054	1.970	1.970	0.026	0.003	9.054	0.003	0.500	0.020	0.093
4	18.979	961.307	18.979	1.970	1.970	0.026	0.009	18.979	0.009	0.500	0.020	0.100
5	20.785	297.158	20.785	5.345	5.345	0.093	0.005	11.483	0.009	1.358	0.053	0.352
Media	20.649	888.054	20.649	3.170	3.170	0.045	0.008	18.789	0.009	0.805	0.032	0.229
D.E.	10.176	784.759	10.176	1.382	1.382	0.028	0.004	10.965	0.003	0.351	0.014	0.164
C.V.	49.281	88.368	49.281	43.592	43.592	61.654	44.352	58.359	36.318	43.592	43.592	71.860
Mediana	18.979	513.598	18.979	3.282	3.282	0.039	0.009	17.448	0.009	0.834	0.033	0.144
Media +2.00 DE	41.001	2457.573	41.001	5.933	5.933	0.100	0.015	40.718	0.015	1.507	0.059	0.557
Media -2.00 DE	0.297	-681.465	0.297	0.406	0.406	-0.010	0.001	-3.141	0.002	0.103	0.004	-0.100
Mínimo	9.054	297.158	9.054	1.970	1.970	0.026	0.003	9.054	0.003	0.500	0.020	0.093
Máximo	36.980	2220.312	36.980	5.345	5.345	0.093	0.011	36.980	0.011	1.358	0.053	0.454

**Tabla 19.** Tabla de propiedades del material obtenido proveniente de reciclaje en una segunda fase. Fuente: Instituto de Investigación de Materiales de la UNAM. Elaboración: propia. La columna extrema izquierda contiene el número de pruebas efectuadas, incluyendo medias, mínimos y máximos.



Comparativa de propiedades del PIR respecto a las propiedades encontradas en los poliestireno comerciales moldeados no reforzados.

Datos obtenidos de [www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=df6b1ef50ce84e7995bdd1f6fd1b04c9&ckck=1](http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=df6b1ef50ce84e7995bdd1f6fd1b04c9&ckck=1)<sup>54</sup>

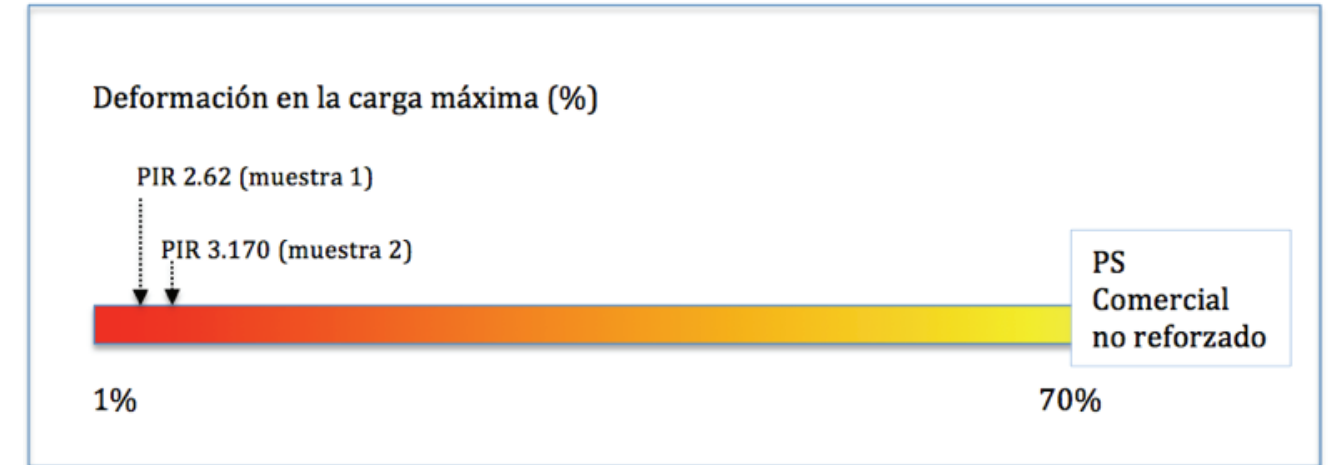
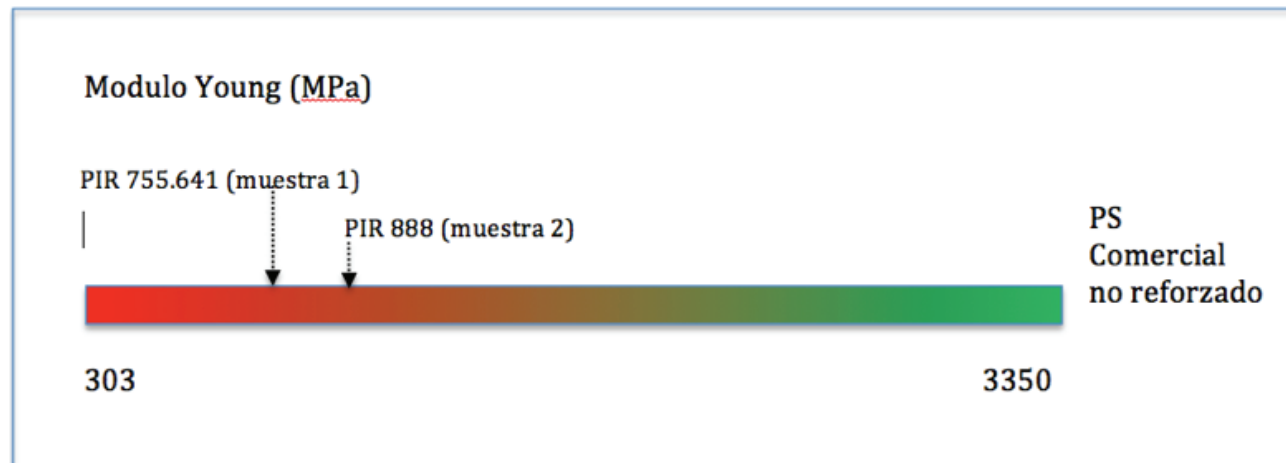
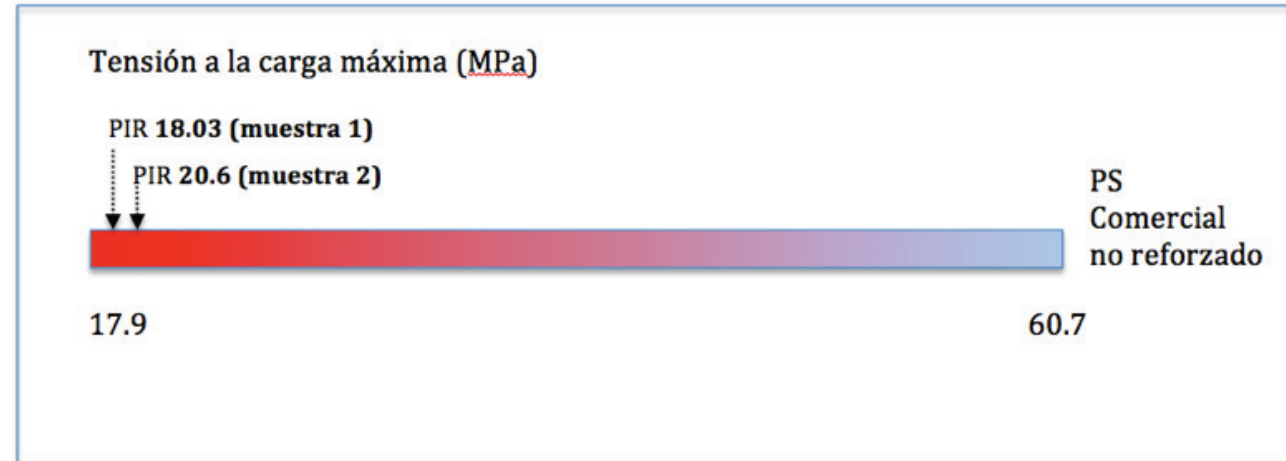


Tabla 20. “PIR” vs Poliestireno comercial moldeado no reforzado. Fuente: MatWeb. Elaboración: propia. La comparación anterior permite inferir que el PIR tiene buenas propiedades si se compara con el PS de bajas prestaciones. Se esperaba que características como resistencia y tensión a la carga máxima no sean excepcionales pues el material obtenido se fabricó a partir del poliestireno, un material con bajas prestaciones en estos aspectos.

54. Base de datos online especializada que contiene propiedades de diversos materiales. (MatWeb, 2014)





**APROVECHAMIENTO  
DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO  
DE POST-CONSUMO.**

UNA PROPUESTA DESDE EL **DISEÑO INDUSTRIAL.**

Javier Mauricio Fajardo Romero.  
Universidad Nacional Autónoma de México.  
Maestría en Diseño Industrial  
Posgrado en Diseño Industrial.  
México D.F., marzo 2014