



ACADEMIA NACIONAL DE  
INGENIERÍA

REPÚBLICA ARGENTINA



INSTITUTO DEL  
AMBIENTE

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA



**DOCUMENTO 7**

**TECNOLOGÍAS DE RECICLADO Y  
VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS**  
Alternativas en aplicación o en desarrollo y  
aspectos legales

Dra. Noemí E. Zaritzky  
(Editora)



**2024**

# ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

## Presidente Honorario

Oscar A. Vardé

## Mesa Directiva (2024-2026)

### **Presidente**

Oscar U. Vignart

### **Vicepresidente 1º**

Máximo J. Fioravanti

### **Vicepresidente 2º**

Patricia L. Arnera

### **Secretario**

Tomás A. del Carril

### **Prosecretaria**

Teresa E. Pérez

### **Tesorero**

José Luis Rocés

### **Protesorero**

José Luis Inglese

### **Revisor de cuentas**

Alberto Giovambattista

# ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

## Académicos Titulares<sup>1</sup>

Oscar A. Vardé	Ezequiel Pallejá
Luis U. Jáuregui	Osvaldo J. Postiglioni
Raúl A. Lopardo	Javier R. Fazio
Ricardo A. Schwarz	José Luis Rocés
Manuel A. Solanet	Roberto S. Carnicer
Tomás A. del Carril	Raúl S. Escalante
Rodolfo E. Biasca	Antonio A. Cadenas
Eduardo R. Baglietto	Nicolás Gallo
Arístides B. Domínguez	Mario Solari
Alberto Giovambattista	Hipólito A. Choren
Carlos D. Tramutola	Roberto D. Agosta
Noemí E. Zaritzky	Rodolfo D. Aradas
Gustavo A. Devoto	Carlos M. Brañas
Patricia L. Arnera	Teresa E. Pérez
Raúl D. Bertero	Armando E. De Giusti
Máximo J. Fioravanti	Luis M. Girardotti
Miguel A. Beruto	Darío R. Gómez
Oscar U. Vignart	

---

<sup>1</sup> Ordenados por fecha de designación.

# TECNOLOGÍAS DE RECICLADO Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS. ALTERNATIVAS EN APLICACIÓN O EN DESARROLLO Y ASPECTOS LEGALES

## INDICE

Prólogo	9
<b>1 Caracterización y producción de los materiales plásticos</b>	<b>10</b>
<i>Dra. Ing. Noemí E. Zaritzky</i>	
1.1 Tipos de plásticos - Características-clasificación y codificación	10
1.2 Producción mundial de plásticos	20
1.3 Descripción de los tipos de plásticos más importantes	22
1.4 Codificación de plásticos	34
1.5 El problema de los aditivos en productos plásticos	35
1.6 Producción de plásticos en Argentina	40
1.7 Referencias bibliográficas	46
<b>2 Materiales plásticos. Recursos energéticos empleados en su producción. Beneficios y riesgos asociados al uso.</b>	<b>47</b>
<i>Ing. Hipólito A. Choren</i>	
2.1 Introducción	47
2.2 Economía circular	48
2.3 Análisis del ciclo de vida (ACV)	48
2.4 Recursos energéticos empleados	49
2.5 Emisiones de gases efecto invernadero (GEI)	52
2.6 Huella de Carbono	53
2.7 Usos de los materiales plásticos, beneficios y riesgos asociados	55
2.8 Conclusiones	66
2.9 Referencias bibliográficas	67
2.10 Anexo	68
<b>3 Bioplásticos y polímeros biodegradables</b>	<b>69</b>
<i>Dra. Ing. Noemí E. Zaritzky</i>	
3.1 Clasificación de los plásticos según su origen y biodegradabilidad	69
3.2 ¿Qué es un polímero biodegradable?	70
3.3 ¿Qué es un biopolímero?	70
3.4 Utilización de los plásticos biodegradables	72
3.5 Características de los bioplásticos	73
3.6 Concepto de plásticos biobasados	75

3.7	Plásticos compostables	77
3.8	Ácido poliláctico: polímero biodegradable producido por vía fermentativa	79
3.9	Polihidroxialcanoatos	80
3.10	Emisión de gases efecto invernadero	83
3.11	Producción global de bioplásticos	83
3.12	Situación en Argentina	85
3.13	Referencias bibliográficas	85
<hr/>		
<b>4</b>	<b>Residuos plásticos generados</b>	<b>87</b>
	<i>Lic. Juan José Paladino</i>	
4.1	Fuentes de generación de los residuos plásticos (RPL): RSU (residuos sólidos urbanos), fitosanitarios, construcción, industriales, RAEE's (residuos de aparatos eléctricos y electrónicos), etc.	88
4.2	Recolección, acopio, segregación, reciclado y reuso. Dificultades inherentes a la incompleta o incorrecta gestión de los RPL.	90
4.3	Comportamiento de los RPL en el ambiente. Afectación de la biota y ecosistemas en general.	93
4.4	Panorama global y nacional en cuanto a porcentajes de reciclado y tendencias. Cantidades de RPL con destino final en vertederos. Objetivos para una gestión adecuada.	95
4.5	Referencias bibliográficas	97
<hr/>		
<b>5</b>	<b>Microplásticos</b>	<b>99</b>
	<i>Dra. Norma Sbarbati Nudelman</i>	
5.1	Definiciones y origen	99
5.2	Tecnologías de detección y análisis	100
5.3	Un desafío adicional: los aditivos químicos	102
5.4	Microplásticos en espejos de agua dulce	103
5.5	Microplásticos en el agua para consumo humano	104
5.6	MPS en aguas cloacales	105
5.7	MPS en la alimentación y en la salud humana	106
5.8	Biodegradación de microplásticos	108
5.9	Estrategias	109
5.10	Referencias bibliográficas	110
<hr/>		
<b>6</b>	<b>Reciclado mecánico de materiales plásticos</b>	<b>114</b>
	<i>Ing. Hipólito A. Choren</i>	
6.1	Introducción	114
6.2	Descripción del proceso de reciclado mecánico	117
6.2.1	Selección	117
6.2.2	Molienda	118
6.2.3	Separación por densidad	118
6.2.4	Lavado	118

6.2.5	Secado	119
6.2.6	Peletizado	119
6.3	Tendencias del proceso de reciclado mecánico	119
6.4	Conclusiones	120
6.5	Anexo	121
6.6	Referencias bibliográficas	122
<hr/>		
<b>7</b>	<b>Reciclado químico, enzimático y valorización energética de residuos plásticos</b>	<b>124</b>
	<i>Dra. Ing. Noemí E. Zaritzky</i>	
7.1	Reciclado de plásticos	124
7.2	Reciclado físico o por disolución	125
7.3	Reciclado químico o reciclado molecular	127
7.4	Descomposición térmica o termólisis	129
7.4.1	Gasificación	131
7.4.2	Craqueo térmico o pirólisis: Pirólisis térmica y catalítica	132
7.4.3	Hidrocraqueo o hidrogenación	140
7.5	Despolimerización química o quimiólisis (solvolisis)	141
7.5.1	Glicólisis	143
7.5.2	Hidrólisis	144
7.5.3	Metanólisis	147
7.5.4	Amonólisis	148
7.5.5	Aminólisis	148
7.5.6	Desarrollo de procesos industriales de despolimerización	148
7.6	Reciclado enzimático de plásticos	149
7.7	Aprovechamiento de residuos plásticos por recuperación energética	151
7.7.1	Caso de Análisis: Descripción de un proceso de incineración con recuperación energética aplicado a envases plásticos en una planta modelo	153
7.7.2	Importancia de la recuperación energética	154
7.7.3	¿Qué plásticos se utilizan para recuperación energética?	155
7.7.4	La recuperación energética a nivel internacional y en Argentina	155
7.8	Otras formas de aprovechamiento de los residuos plásticos su utilización como combustible en altos hornos y cementeras	156
7.8.1	Uso de residuos plásticos como agentes reductores en altos hornos	156
7.8.2	Uso de residuos plásticos en la industria cementera	157
7.9	Comentarios finales	157
7.10	Conclusiones	159
7.11	Referencias bibliográficas	160

---

## 8 La regulación en Argentina de los residuos plásticos. Propuesta de puntos a incluir en una norma que regule en forma integral su gestión integral. 162

*Dra. María Marcela Flores*

8.1	Resumen Ejecutivo	162
8.2	Introducción	163
8.3	La regulación de los residuos no peligrosos en Argentina. Análisis constitucional de competencias	163
8.3.1	Las normas de presupuestos mínimos, los principios ambientales y el Convenio de Escazú.	166
8.3.2	Competencias ambientales de las jurisdicciones locales.	171
8.4	La regulación de los residuos no peligrosos en argentina. Los residuos plásticos.	174
8.5	Resumen de las principales normas en materia de residuos sólidos urbanos vigentes en las jurisdicciones locales, que definen la gestión de residuos plásticos y legislación específica	180
8.5.1	Normativa nacional general sobre residuos no peligrosos, entre los que se encuentran los plásticos	181
8.5.2	Compost, guías para su instalación y programa de adhesión. Normas nacionales.	184
8.5.3	Normas específicas sobre plásticos a nivel nacional	184
8.5.4	Planes y programas nacionales que invitan a las jurisdicciones locales a su adhesión	185
8.5.5	Normas de las jurisdicciones locales	190
8.6	Normas voluntarias	248
8.7	Futuro instrumento internacional vinculante en materia de gestión de residuos plásticos	250
8.8	Punteo de los principales temas que se consideran importantes para lograr la gestión eficaz de los residuos plásticos. Problemas que se detectan en la legislación.	252
8.9	Referencias bibliográficas	256
8.10	Notas	257
8.11	Abreviaturas y acrónimos	261

---

## 9 Comentarios finales y recomendaciones 265

## ANEXO – Antecedentes resumidos de los autores 277

---

### **Agradecimientos**

*A la Academia Nacional de Ingeniería de la Argentina (ANI), y a su Presidente, el Ing. Oscar Vignart por su interesante contribución, que ha quedado reflejada en el capítulo de Comentarios finales y Recomendaciones; al Instituto del Ambiente de ANI, y especialmente a su Director el Ing. Osvaldo Postiglioni por el impulso brindado para realizar este documento y a todos los autores por sus valiosos aportes.*

---

# Prólogo

El objetivo del documento es presentar conceptos generales de los plásticos, de los bioplásticos; las tecnologías de reciclado y procesamiento de los residuos plásticos, para su revalorización y reinserción en el mercado; analizar los resultados de las experiencias internacionales que se encuentren en desarrollo a nivel de escala piloto y operativas a escala industrial; discutir la viabilidad de su aplicación en nuestro país, abordando las cuestiones ambientales, sociales, económicas y legales.

Es propósito, asimismo, difundir su contenido y conclusiones entre las autoridades competentes de la gestión de residuos de los niveles nacional, provincial, municipal o departamental.

El documento constituye una continuidad y complemento del documento elaborado por este Instituto cuyo título es: “Gestión de los Residuos Plásticos- Una preocupación a nivel global”, que fue publicado en la página web de la ANI, en junio de 2020.

# Caracterización y producción de los materiales plásticos

Dra. Ing. Noemí E. Zaritzky

## 1.1 Tipos de plásticos - Características-clasificación y codificación

Un plástico es un sólido orgánico, generalmente un polímero de elevada masa molecular, que se puede moldear. De hecho, la palabra plástico proviene del griego *plastikos* (πλαστικός), que significa moldeable; la plasticidad, es una propiedad de los materiales, que se refiere a la capacidad de deformarse sin llegar a la ruptura. Los materiales plásticos son polímeros de alto peso molecular de moléculas orgánicas; poseen ciertas propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlos. Esta propiedad confiere a los plásticos gran variedad de aplicaciones.

### ¿Qué son los polímeros?

Los polímeros son macromoléculas que están formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros. Estas moléculas pueden tener diferentes formas y tamaños, y sus propiedades físicas y químicas dependen de la estructura molecular y del tipo de monómeros que las componen. La polimerización, es el resultado del proceso químico en que los monómeros se agrupan químicamente entre sí por adición o condensación para formar el polímero, una cadena lineal o una macromolécula tridimensional.

Los polímeros pueden ser i) **naturales**, como es el caso del almidón, celulosa, lana, algodón o el caucho natural; ii) **semi-sintéticos**, que son el resultado de la transformación de los polímeros naturales; iii) **sintéticos**, que se obtienen en laboratorios o mediante procesos industriales utilizando catalizadores y monómeros.

Los primeros plásticos sintéticos, como la baquelita, se descubrieron a principios del siglo XX, y desde ese momento se fueron encontrando nuevas variedades, y nuevas técnicas para su síntesis y procesamiento, a medida que se incrementaban sus usos y aplicaciones. En la actualidad, los plásticos han conseguido ocupar un rol muy importante. Un factor clave en esta industria es el petróleo, materia prima a partir de la cual se obtiene la inmensa mayoría de los plásticos sintéticos comercializados.

En general los plásticos se sintetizan a partir de derivados químicos del petróleo, aunque también existen, plásticos derivados de fuentes renovables, tales como el ácido poliláctico, plásticos derivados del almidón y de origen bacteriano como los polihidroxicanoatos.

Estos temas se discutirán en el Capítulo 3.

Los plásticos derivados de la industria petroquímica tienen múltiples aplicaciones y en diversas escalas; más de un tercio de los plásticos se utilizan en productos desechables, tales como envases, utensilios para alimentación y bolsas de residuos. Además, los plásticos se utilizan en edificación y construcciones, movilidad y transporte, dispositivos eléctricos y electrónicos, agricultura.

### Los polímeros sintéticos

Los polímeros sintéticos tienen una estructura que está formada por cadenas carbonadas compuestas por monómeros; cuando los monómeros son iguales se denominan **homopolímeros** y si son diferentes se denominan **copolímeros**.

Los homopolímeros sintéticos son macromoléculas que están formadas por la repetición de una sola unidad monomérica idéntica (por ejemplo polietileno o polipropileno).

Los copolímeros, necesitan al menos dos monómeros diferentes para formar su estructura; los patrones de repetición pueden ser aleatorio, en bloque, alternado etc. La seda es un copolímero natural y la baquelita es un copolímero sintético.

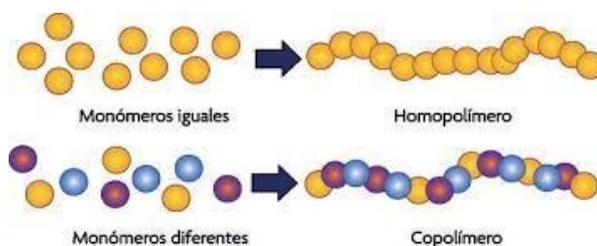


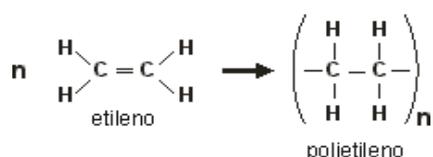
Fig. 1.1 Esquema de Homopolímero y Copolímero

Para fabricar un plástico se utilizan dos procesos principales: i) la polimerización por adición y ii) por condensación; ambos requieren catalizadores específicos. Por lo tanto, según la reacción de síntesis se clasifican en polímeros de adición y de condensación

### Polímeros de adición

En la síntesis se produce la ruptura o apertura de una unión del monómero insaturado (que tiene doble ligadura) para permitir la formación de una cadena. La molécula de monómero pasa a formar parte del polímero sin pérdida de átomos.

Se muestran algunos ejemplos:



En el caso del polietileno la doble ligadura del etileno se abre y aparece como enlace simple en el polietileno.

El policloruro de vinilo (PVC) se obtiene a partir de la polimerización del cloruro de vinilo que tiene una doble ligadura.



En la Tabla 1.1 se muestran **polímeros de adición** de uso frecuente

**Tabla 1.1 Polímeros de adición**

Polímero	Abreviatura	Unidad de repetición
Polietileno	PE	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$
Polipropileno	PP	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-$
Poliestireno	PS	$-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-$
Poli(cloruro de vinilo)	PVC	$-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-$
Poliacrilonitrilo	PAN	$-\text{CH}_2-\underset{\text{C}\equiv\text{N}}{\text{CH}}-$
Poli(metacrilato de metilo)	PMMA	$-\text{CH}_2-\underset{\text{COOCH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{CH}}}-$
Polibutadieno (1,4-cis)	PB	$-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$

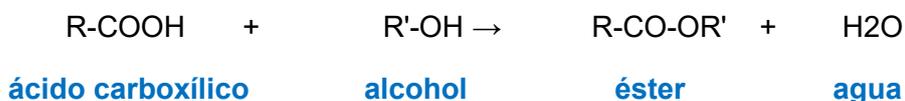
### Polímeros que se obtienen por condensación

La polimerización por condensación corresponde a los procesos donde se producen la eliminación de una molécula que puede ser agua, amoníaco o ácido clorhídrico.

Poliamidas, poliésteres, resinas fenólicas, siliconas son polímeros de condensación.

Los monómeros iniciales de estas sustancias deben tener, por lo menos, dos grupos reactivos por monómero para darle continuidad a la cadena. En ese caso se obtiene

un polímero con estructura lineal. La reacción siguiente muestra la formación de un éster por reacción de un ácido carboxílico (COO<sup>-</sup> es el grupo carboxilo) y un alcohol con pérdida de una molécula de agua:



En este caso se puede observar que se pierde una molécula de agua en la reacción de esterificación.

Si se parte de monómeros tri, tetra o en general polifuncionales se obtiene polímeros reticulados tridimensionalmente.

Si se combinan monómeros bifuncionales con monómeros tri ó polifuncionales se forman policondensados ramificados, pudiendo en este caso formarse también estructuras reticuladas si la cantidad de monómero polifuncional es suficientemente grande.

Los policondensados lineales y ramificados son termoplásticos y los reticulados son termoendurecibles o termoestables. (Más adelante se explicarán estos conceptos)

Un ejemplo de polímeros de condensación son lo **poliésteres**. El poliéster contiene el grupo funcional éster en su cadena principal. El término poliéster generalmente se refiere a los poliésteres sintéticos (plásticos), provenientes de fracciones pesadas del petróleo. El poliéster termoplástico más conocido es el PET (polietilen- tereftalafo).

El poliéster es muy resistente a la humedad, a los productos químicos y a las fuerzas mecánicas. Se usa en la fabricación de fibras, recubrimientos de láminas, etc.

En el caso de los poliésteres, los procesos de policondensación que conducen a su obtención, utilizan como monómeros iniciales un polialcohol y un ácido policarboxílico. Según la funcionalidad de estos monómeros, el poliéster final puede tener una estructura lineal o una estructura reticulada.

### Poliésteres lineales

Los poliésteres lineales resultan de la condensación de ácidos dicarboxílicos con dialcoholes. Entre el OH del grupo carboxilo y el H del grupo alcohol se elimina una molécula de agua, creándose el grupo éster que sirve de puente de enlace en estas cadenas poliméricas.

El Polietilentereftalato (PET), es un poliéster lineal. Se muestra a continuación la reacción entre el etilen-glicol y el ácido tereftálico para formar PET (poliéster) con pérdida de molécula de agua.



La polimerización por etapas es un mecanismo de polimerización que procede por pasos independientes. En una primera etapa los monómeros con dos o más grupos funcionales reaccionan para formar dímeros, luego trímeros y oligómeros más grandes, y ocasionalmente polímeros de cadena larga. En la Tabla 1.2 se muestran algunos polímeros de condensación.

**Tabla 1.2 Polímeros de condensación**

Polímero	Abreviatura	Unidad de repetición
Poliéster		$-\text{R}-\text{OCO}-\text{R}'-\text{COO}-$
Poliamida	PA	$-\text{NH}-\text{R}-\text{NHCO}-\text{R}'-\text{CO}-$
Policarbonato	PC	$-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO}-$
Poli(etilen terftalato)	PET	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OCO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}-$
Poliuretano	PU	$-\text{NH}-\text{COO}-\text{R}-\text{OCO}-\text{NH}-\text{R}'-$
Resina de Fenol-formaldehído		$\begin{array}{c} \text{OH} \quad \text{OH} \\   \quad   \\ \text{C}_6\text{H}_3 - \text{CH}_2 - \text{C}_6\text{H}_3 \\   \quad   \\ \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \end{array}$

Según su estructura molecular los polímeros pueden ser:

**Amorfos:** son los plásticos en los que las moléculas están dispuestas desordenadamente y no presentan ningún tipo de orden. Al no existir orden entre cadenas se crean huecos por los que pasa la luz, razón por la que los polímeros amorfos son transparentes.

**Semi-cristalinos:** Los polímeros semi-cristalinos tienen zonas con cierto tipo de orden junto con zonas amorfas. En este caso al tener un orden existen menos huecos entre cadenas por lo que no pasa la luz, a no ser que posean un espesor pequeño.

**Cristalizables:** El porcentaje de cristalinidad de un polímero semi-cristalino depende de la velocidad de enfriamiento; si el enfriamiento es rápido, la cristalinidad disminuye mientras que se incrementa si el enfriamiento es lento. Un polímero amorfo, no presentará cristalinidad, aunque su velocidad de enfriamiento sea extremadamente lenta.

**Los plásticos a su vez se clasifican en tres grupos: termoplásticos, termoestables, elastómeros** según se muestra en las Figs 1.2 y 1.3

**Termoplásticos**, son aquellos que al calentarse se funden y se convierten en fluidos, pudiendo colocarse en cualquier molde ya que, al enfriarse lo suficiente, vuelve a endurecerse en un estado vítreo. Este hecho facilita el reciclaje de estos plásticos, ya que es relativamente fácil hacer nuevos productos. Los polímeros termoplásticos después de ser calentados y moldeados, pueden ser recalentados y formar otros objetos. Sin embargo, sus propiedades físicas cambian gradualmente si se funden y se moldean varias veces.

Los **termoplásticos** incluyen entre otros: Tereftalato de polibutileno (PBT), Polietileno (PE), Poliamidas (PA), Polipropileno (PP), Policarbonato (PC), Resina de acrilonitrilo butadieno estirenos (ABS), Etilen-Vinil-Alcohol (EVOH), Copolímero de estireno acrilonitrilo (SAN), Polieteretercetona (PEEK), polioximetileno (POM), Poliestireno expandido (EPS), Poliarilsulfona (PSU), Poliestireno (PS), Elastómeros termoplásticos (TPE), Polietileno tereftalato (PET), Polimetacrilato de metilo (PMMA)

Los termoplásticos más usados son polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), polimetilmetacrilato (PMMA), policloruro de vinilo (PVC), polietilentereftalato (PET), el teflón y el nylon (un tipo de poliamida).

Los polietilenos y derivados emplean como materia prima el etileno obtenido del craqueo del petróleo que tratado posteriormente, permite obtener diferentes monómeros como acetato de vinilo, alcohol vinílico, cloruro de vinilo, etc. Pertenecen a este grupo el PVC, el poliestireno, el metacrilato, etc. Las resinas celulósicas, se obtienen a partir de la celulosa, el material constituyente de la parte leñosa de las plantas; pertenece a este grupo el rayón.

La mayor parte de los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular, los cuales poseen cadenas asociadas por medio de distintos tipos de fuerzas: fuerzas débiles de Van der Waals (polietileno), fuertes interacciones dipolo-dipolo y enlace de hidrógeno, o incluso anillos aromáticos apilados (poliestireno).

**Termoestables o termoendurecibles** (thermosets) son polímeros que mediante la presión y la temperatura se reblandecen y pueden moldearse en su fase fluida **una sola vez** y antes de que la reacción de polimerización haya finalizado por completo. Son plásticos que una vez han adquirido una forma al enfriarse y solidificarse, ya permanecen en este estado aunque se calienten, y por lo tanto, no pueden volver a fundirse.

Es decir los plásticos termoestables son materiales que, una vez que han sufrido el proceso de calentamiento-fusión y formación-solidificación, se convierten en materiales rígidos que no vuelven a fundirse. La baquelita es termoestable y fue el primer plástico comercial; es una resina sintética plástica que se obtiene por condensación del fenol con el formol; se usa como material aislante en la fabricación de pinturas y barnices y para otros objetos.

Ejemplos de polímeros termoestables son: Poliuretanos termoestables (los más habituales son espumas, muy utilizadas como aislantes térmicos y como espumas resilientes), resinas fenol – formaldehído, resinas epoxi, ésteres de vinilo, resina de melamina, poliésteres insaturados, resinas fenólicas, resinas urea – formaldehído, resinas acrílicas

Téngase en cuenta que los polímeros lineales (una sola cadena lineal de monómeros) y los polímeros ramificados (lineales con cadenas laterales) son termoplásticos. Los polímeros reticulados, es decir, los polímeros con enlaces formados entre las cadenas poliméricas, ya sea entre diferentes cadenas o entre diferentes partes de la misma cadena, son termoestables.

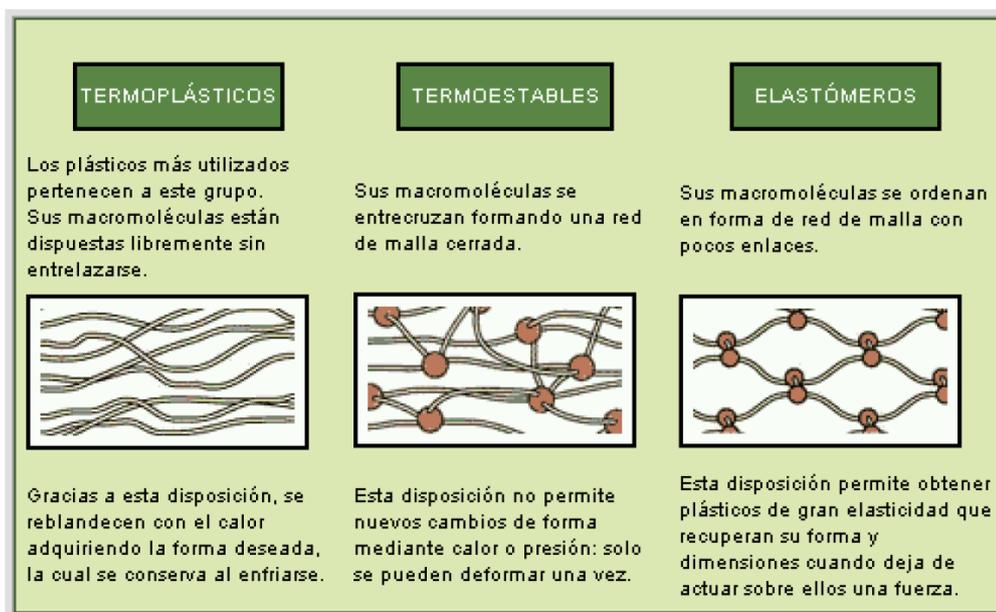


Fig. 1.2 Vinculación entre estructura y tipo de polímero

**Elastómeros o cauchos**, tienen una gran elasticidad y capacidad de estiramiento y rebote recuperando su forma original una vez que se retira la fuerza que los deformaba. Se caracterizan por su ligereza, durabilidad y amplia estabilidad ante la humedad y los productos químicos, propiedades que si bien pueden considerarse cualidades en el ámbito de su producción y su utilización, se tornan desventajas a la hora de su consideración como residuos. Son difíciles de disolver.

Los elastómeros son polímeros muy elásticos y viscosos formados por moléculas largas en forma de cadena larga cuyas estructuras químicas tienen enlaces cruzados intermoleculares y son capaces de recuperar su forma original después de ser estirados. Se utilizan en empaquetaduras industriales de líquidos, tuberías, motores y material para construcción; fabricación de suelas de zapatos; neumáticos; productos textiles como lycra y spandex

Algunos ejemplos de materiales elastómeros son silicona, el neopreno, polibutadieno, látex natural. El polibutadieno es el segundo caucho sintético en volumen, por detrás del caucho estireno-butadieno (SBR). Su principal aplicación es la fabricación de neumáticos, la cual consume alrededor del 70% de la producción. También se emplea para fabricar pelotas de golf y objetos elásticos diversos.

En la Figura 1.2 se muestra la estructura de los distintos polímeros descriptos y en la Figura 1.3 se dan ejemplos de cada grupo.



**Fig. 1.3 Clasificación de los materiales plásticos y ejemplos**

En la Tabla 1.3 se muestran los usos de los polímeros termoplásticos y termoestables

**Tabla 1.3 Usos de los polímeros termoplásticos y termoestables (Adaptado de Plastics Europe 2019; Mexpolímeros.com)**

TERMOPLÁSTICOS	
Polietileno (PE)	Embalaje, bienes de consumo, fibras y textiles, tuberías y accesorios
Polipropileno (PP)	Embalaje, bienes de consumo, aplicaciones automotrices
Cloruro de polivinilo (PVC)	Edificación y construcción, cuidado de la salud, electrónica, automóviles y otros sectores, tuberías y revestimientos, bolsas y tubos para sangre, aislamiento de alambres y cables, componentes de sistemas de parabrisas

## CARACTERIZACIÓN Y PRODUCCIÓN DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS

Tereftalato de polietileno (PET)	Botellas de plástico, aplicaciones de cinta, embalaje, recipientes rígidos, recipientes aptos para microondas, películas transparentes
Poliestireno (PS)	Recipientes, tapas, botellas, bandejas, vasos, cubiertos descartables
Poliestireno expandido (EPS)	Materiales de construcción, embalaje, tablas de surf
Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)	Sistemas de tuberías de drenaje, desagüe y ventilación, instrumentos musicales, cabezas de palos de golf, componentes de molduras de automóviles, barras de paragolpes de automóviles, dispositivos médicos, recintos para ensamblajes eléctricos y electrónicos, cascos protectores, cantos de amortiguación para muebles y paneles de carpintería, maletas y estuches protectores, pequeños electrodomésticos de cocina, juguetes, artículos domésticos
Resina de estireno-acrilonitrilo (SAN)	Envases de alimentos, botellas de agua, utensilios de cocina, productos informáticos, material de embalaje, cajas de batería, fibras ópticas de plástico
Poliamidas (PA)	Textiles, industria automotriz, alfombras, utensilios de cocina, ropa deportiva
Policarbonato (PC)	Componentes electrónicos, materiales de construcción, almacenamiento de datos, automoción, aviación, ferrocarril, componentes de seguridad, aplicaciones médicas, teléfonos
Metacrilato de polimetilo (PMMA) (también conocido como acrílico, vidrio acrílico o plexiglás)	Sustituto de vidrio transparente, tecnologías médicas e implantes, usos artísticos y estéticos
Elastómeros termoplásticos (TPE)	Sector automotriz, sectores electrodomésticos
Poliarilsulfona	Membranas, celdas de combustible
Fluoropolímeros, por ejemplo, politetrafluoroetileno (PTFE)*	Cojinetes y sellos para automóviles y aeronaves, retardantes de llama, recubrimientos para utensilios de cocina, revestimientos de tuberías y tanques químicos, empaques para baterías de iones de litio, recubrimiento de cables en las industrias de telecomunicaciones e informática, implantes y catéteres para aplicaciones biomédicas
Poliéter éter cetona (PEEK)	Cojinetes, piezas de pistones, bombas, columnas de cromatografía líquida de alta resolución, válvulas de placas de compresores, aislamiento de cables eléctricos, aplicaciones de alto vacío, implantes médicos
Polioximetileno (POM)	Piezas de precisión que requieren alta rigidez, baja fricción y excelente estabilidad dimensional
Tereftalato de polibutileno (PBT)	Carcasas en ingeniería eléctrica, en la construcción de automóviles como conectores de enchufes, cabezales de ducha, planchas, procesadas como fibras en cepillos de dientes teclados de computadora
Ácido poliláctico (PLA)	Sustancia biocompatible y reabsorbible. Película de plástico, vajilla descartable, cubertería, botellas, impresión 3D, implantes médicos, hilo de sutura reabsorbible
Polihidroxialcanoatos (PHA)	Envases, implantes médicos
Succinato de polibutileno (PBS)	Envases, vajillas, películas de mantillo o "mulching" (acolchado orgánico biodegradable que ofrecen beneficios, como el control de malezas, el mantenimiento de la estructura del suelo y la

	prevención de cultivos por contaminación del suelo), materiales de liberación para pesticidas y fertilizantes
Tereftalato de adipato de polibutileno (PBAT)	Envoltura adhesiva para envases de alimentos, bolsas de plástico compostables y revestimientos resistentes al agua, como en vasos de papel
Policaprolactona (PCL)	Implantes médicos; dispositivo de suministro de drogas
<b>TERMOESTABLES</b>	
Poliuretano (PUR)	Productos de limpieza, muebles, asientos de automóviles, mangueras, esculturas, decoraciones, relleno de espacios y cavidades
Poliéster insaturado	Moldeo de láminas, moldeo a granel, tóner de impresoras láser. Se pueden combinar con fibra de vidrio para lograr composites de múltiples aplicaciones
Resina epoxi	Pinturas y recubrimientos, adhesivos, herramientas y compuestos industriales, compuestos de tecnología de turbinas eólicas, sistemas eléctricos y electrónicos, petróleo y petroquímica, aplicaciones marinas y de consumo
Resina de melamina	Material de construcción, utensilios y platos de cocina, ebanistería y fabricación de muebles
Ester de vinilo	Como alternativa al poliéster y materiales epoxi, como matriz polimérica termoestable en materiales compuestos, fabricación de plásticos reforzados con fibra de vidrio (FRP), tanques y recipientes
Silicona	Industria automotriz, aeroespacial, revestimientos, utensilios de cocina, antiespumantes, limpieza en seco, electrónica, cortafuegos, lubricantes, medicina, fabricación de moldes, oftalmología, cuidado personal, plomería y construcción, juguetes y pasatiempos
Fenol – resina de formaldehído	Producción de productos moldeados, incluidas bolas de billar, encimeras de laboratorio y como recubrimientos y adhesivos
Urea formaldehído	Adhesivos, acabados, tableros de partículas, tableros de fibra de densidad media y objetos moldeados.
Resinas acrílicas	Ingrediente en pinturas

**Adaptado de Plastics Europe 2019**

[https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2021/11/Plastics the facts-Mar2019-esp.pdf](https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2021/11/Plastics%20the%20facts-Mar2019-esp.pdf)

**Abreviaturas**

**ABS:** Resina de acrilonitrilo butadieno estireno

**ASA:** Acrilonitrilo estireno acrilato

**EPS:** Poliestireno expandible

**PA:** Poliamidas (incluye la PA6 y la PA66)

**PBT:** Tereftalato de polibutileno

**PC:** Policarbonato

**PE-HD:** Polietileno de alta densidad

**PE-LD:** Polietileno de baja densidad

**PE-LLD:** Polietileno lineal de baja intensidad

**PE-MD:** Polietileno de media densidad  
**PE:** Polietileno  
**PEEK:** Polieterecetona  
**PEI:** Polietirimida  
**PET:** Polietilen tereftalato  
**PMMA:** Polimetilmetacrilato  
**POM:** Polioximetileno  
**PP:** Polipropileno  
**PPA:** Poliftalamida  
**PS:** Poliestireno  
**PSU/PES/PPSU:** polisulfona/polietersulfona/ polifenilsulfona  
**PTFE:** Politetrafluoroetileno  
**PUR:** Poliuretano  
**PVC:** Policloruro de vinilo  
**PVDF:** Polivinilideno  
**SAN:** Copolímero de estireno acrilonitrilo

## 1.2 Producción mundial de plásticos

La mayoría de los plásticos producidos actualmente están fabricados con materia prima petroquímica. La producción mundial de plásticos en 2022 fue de 400,3 millones de toneladas (Incluida la producción de plásticos a partir de la polimerización y la producción de plásticos reciclados mecánicamente). De acuerdo a datos de Plastics Europe (2022), en el año 2021 se produjeron 390,7 millones de toneladas de las cuales el 90,2%, correspondió a **plásticos de origen fósil**; el 8,3% fueron **plásticos reciclados postconsumo** y el 1,5%, **plásticos biobasados**.

Estos datos fueron proporcionados por: Plásticos situación 2022 (Plastics Europe), Asociación Paneuropea de Productores de Plásticos) y EPRO (Asociación Europea de Organizaciones de Recuperación y Reciclaje de Plásticos) con información provista por Conversio Market & Strategy GmbH y nova-Institute (2022). No se incluyen los polímeros que no se utilizan en la transformación de piezas y productos de plástico (es decir, para textiles, adhesivos, sellantes, revestimientos, etc.)

Es interesante destacar que en 2022 la producción de **plásticos circulares (reciclados)** creció 16 veces más que la de los plásticos de origen fósil, alcanzando casi el 10% de la producción mundial.

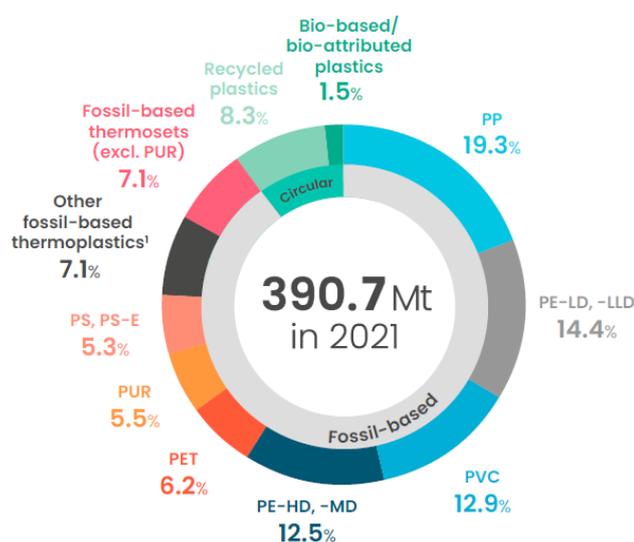
El panorama de la circularidad en Europa es aún más positivo. La producción de plásticos de origen fósil disminuyó mientras que las de los plásticos circulares aumentó un 29,2% comparado con 2018, alcanzando una cuota de mercado del 19,7% de la producción total europea de plásticos en 2022. A nivel geográfico, China concentró el 32% de la producción mundial de plásticos en 2021, tres puntos porcentuales más que en 2017. Le siguieron Norteamérica, con el 18%; el resto de Asia, con el 17%; Europa, con el 15%; Oriente Medio y África, con el 8%; Latinoamérica, con el 4%; y Japón y los países del CIS\*, con un 3% cada uno. (\*Países del CIS, miembros de Comunidad de

**Estados Independientes:** Armenia, Azerbaiyán, Bielorrusia, Kazajistán, Kirguistán, Moldavia, Rusia, Tayikistán)

Con respecto a los diferentes plásticos producidos en 2021 el mayor porcentaje correspondió a termoplásticos. El primer lugar fue para **polipropileno (PP)** (19,3% del total). El segundo plástico más producido del mundo fue el **polietileno de baja densidad** (14,4%).

El **PVC**, con el 12,9% del total, ocupó la tercera posición. Le siguió el **polietileno de alta y media densidad** (12,5% del total). (Fig. 1.4)

La producción de plásticos reciclados fue del 8,3%. A estos materiales, siguieron el **PET**, con el 6,2%; el **poliuretano**, con el 5,5%; el **poliestireno (PS)** y poliestireno expandido (EPS), con el 5,3% y los plásticos biobasados, con el 1,5%.



**Fig. 1.4 Distribución de los plásticos a nivel mundial. Fuente: Plastics Europe. Informe octubre. 2022.**

El informe de Plastics Europe -2022 también recopila la aplicación de destino de los plásticos producidos en 2021 a nivel mundial. **El sector del envasado (packaging) abarcó el 44% de la producción mundial de plásticos.** En segundo lugar Construcción y edificación se llevó el 18%, la industria automotriz, el 8%; electricidad y electrónica, el 7%; productos domésticos deporte y ocio, el 7%; agricultura, ganadería y jardinería, el 4%. El 12% restante se engloba como “Otros”.

La Figura 1.5 muestra los plásticos más utilizados en el mundo y a qué rubros están destinados

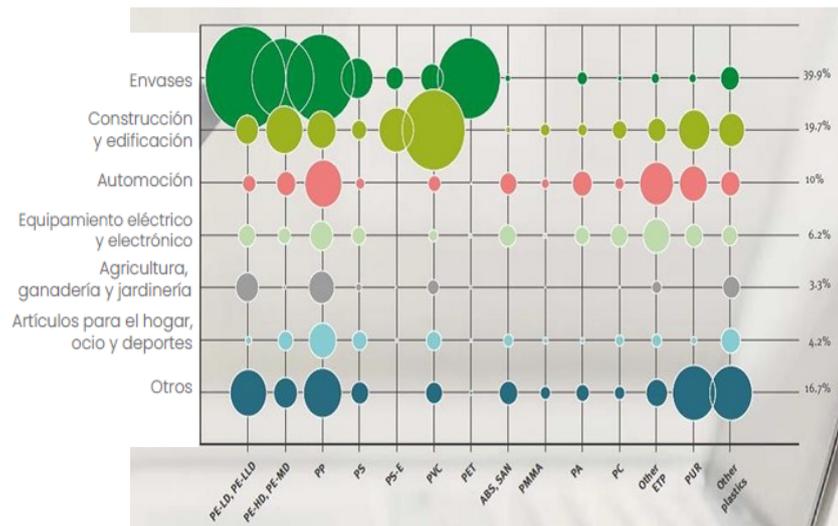


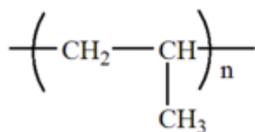
Fig. 1. 5 Usos de los distintos plásticos a nivel mundial. (Adaptado de [www.pvc.org](http://www.pvc.org))

### 1.3 Descripción de los tipos de plásticos más importantes

En base a los datos de producción mundial de plásticos se describirán a continuación los tipos más importantes de plásticos: polipropileno (PP), tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta y baja densidad (PE), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS)

#### Polipropileno (PP)

El **polipropileno (PP)** es parcialmente cristalino, y se obtiene de la polimerización del propileno (o propeno). Pertenece al grupo de las poliolefinas y es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes. Tiene gran resistencia contra diversos solventes químicos, así como contra álcalis y ácidos. Resistente al uso, a los agentes químicos, al agua hirviendo, a los detergentes. Es de bajo costo, fácil de moldear y colorear con buena estabilidad térmica



#### Monómero del propileno

El Polipropileno, es muy similar al polietileno, excepto por las siguientes propiedades: El PP tiene un peso específico entre 0,9 g/cm<sup>3</sup> y 0,91 g/cm<sup>3</sup>, mientras que el peso específico del PEBD (polietileno de baja densidad) oscila entre 0,915 y 0,935, y el del PEAD (polietileno de alta densidad) entre 0,9 y 0,97 (en g/cm<sup>3</sup>).

Tiene una temperatura de reblandecimiento más alta, gran resistencia al “stress cracking”, mayor tendencia a ser oxidado (problema normalmente resuelto mediante la adición de antioxidantes).

El PP tiene un grado de cristalinidad intermedio entre el polietileno de alta y el de baja densidad.

El polipropileno ha sido uno de los plásticos con mayor crecimiento en los últimos años y se prevé que su consumo continúe creciendo más que el de los otros grandes termoplásticos (PE, PS, PVC, PET). En 2021 fue el plástico que tuvo la mayor producción correspondiendo el 19 % del total. El PP es transformado mediante muchos procesos diferentes. Los más utilizados son:

- Moldeo por inyección de una gran diversidad de piezas, desde juguetes hasta paragolpes de automóviles.
- Moldeo por soplado de recipientes huecos como por ejemplo botellas o depósitos de combustible.
- Termoformado de contenedores de alimentos. En particular se utiliza PP para aplicaciones que requieren resistencia a alta temperatura (microondas) o baja temperatura (congelados).
- Producción de fibras, tanto tejidas como no tejidas.
- Extrusión de perfiles, láminas y tubos.
- Impresión 3D, recientemente se ha empezado a usar en formato de filamento para la impresión 3D FDM.
- Producción de película: Película de polipropileno biorientado (BOPP), la más extendida, representando más del 20% del mercado del embalaje flexible en Europa Occidental
- Película moldeada ("cast film"); Película soplada ("blown film"), un mercado en rápido crecimiento

El PP es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes. Tiene gran resistencia contra diversos solventes químicos, así como contra álcalis y ácidos. Una gran parte de los grados de PP son aptos para contacto con alimentos y otros pueden usarse en aplicaciones médicas (mallas quirúrgicas para tratamiento de hernias), o farmacéuticas.

En síntesis, algunos de los usos actuales del polipropileno son: todo tipo de botellas, embalajes, juguetes, bolsas, ropa, piezas del automóvil, alfombras, recipientes para alimentos y medicinas, piezas para electrodomésticos

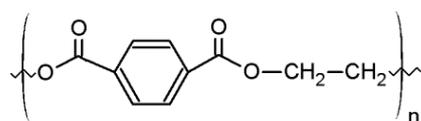
**Toxicidad del polipropileno:** El polipropileno es totalmente seguro mientras no se caliente excesivamente o se funda ya que se descompone y no solo puede contaminar lo que esté en contacto con él (por ejemplo, alimentos) sino que, además, puede generar pequeñas partículas tóxicas muy peligrosas si entran en contacto con la piel o los ojos

Cuando el polipropileno es calentado a altas temperaturas, produce gases tóxicos que se liberan en el ambiente y que al ser respirados van directamente a nuestro sistema respiratorio. Esto resulta un problema grave dentro del sector industrial ya que dentro de los trabajos en donde se calienta el polipropileno existen operarios que se exponen a peligros para la salud producidos por inhalación. Esos gases deben eliminarse para evitar problemas de salud.

### Polietilen tereftalato (PET)

El tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietilenotereftalato o polietilentereftalato (PET) se obtiene mediante una reacción de policondensación del etilenglicol y el ácido tereftálico. Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres. Es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad. Como todos los termoplásticos puede ser procesado mediante extrusión, inyección, inyección y soplado, soplado de preforma y termoconformado. Para evitar el crecimiento excesivo de las esferulitas y lamelas de cristales, este material debe ser rápidamente enfriado, con lo que se logra una mayor transparencia. La razón de su transparencia al enfriarse rápidamente consiste en que los cristales no alcanzan a desarrollarse completamente y su tamaño no interfiere con la trayectoria de la longitud de onda de la luz visible, de acuerdo al proceso de dispersión de la luz por partículas («scattering»). Es duro, resistente al desgaste, dimensionalmente estable, resistente a los químicos y tiene buenas propiedades dieléctricas.

Su fórmula química es:



PET es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles. Tiene un punto de fusión de 260 °C. El PET tiene una temperatura de transición vítrea (temperatura a la cual un polímero amorfo se ablanda) baja ( $T_g = 76^\circ\text{C}$ ). Esto ocasiona que los productos fabricados con dicho material no puedan calentarse por encima de dicha temperatura (por ejemplo, las botellas fabricadas con PET no pueden calentarse para su esterilización y posterior reutilización).

Se pueden distinguir tres tipos fundamentales de PET, *el grado textil, el grado botella y el grado film*.

El **grado textil** fue la primera aplicación industrial del PET. Durante la Segunda Guerra Mundial, se usó para reemplazar las fibras naturales como el algodón o el lino. El PET grado textil se lo conoce como poliéster y tiene excelentes cualidades entre las que se encuentran su alta resistencia a la deformación y su estabilidad dimensional, además del fácil cuidado de la prenda tejida (lavado y secados rápidos sin necesidad de planchado). Entre algunas limitaciones que presenta este material son: difícil tintura, la formación de pilling (bolitas) y la acumulación de electricidad estática, problemas para los que se han desarrollado soluciones eficaces.

El **grado botella** se comenzó a producir en Europa a partir de 1974 y su primera comercialización se llevó a cabo en USA. Desde entonces ha experimentado un gran crecimiento y una continua demanda, debida principalmente a que el PET ofrece características favorables en cuanto a resistencia ante agentes químicos, gran transparencia, ligereza, menores costos de fabricación y comodidad en su manejo. Una de las exitosas aplicaciones del PET, es el envasado de aguas minerales; también se utiliza en el envasado de productos farmacéuticos, de droguería o alimenticios.

El PET **grado film**, se utiliza en gran cantidad para la fabricación de películas fotográficas y de rayos X. Sus propiedades son: alta transparencia, admite colorantes, alta resistencia; buena barrera al dióxido de carbono y a la humedad; compatible con otros materiales, reciclable, bajo peso; impermeable, aprobado su uso para contacto alimentario.

Entre las características más importantes que presenta el PET, se encuentran: buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes, cristalinidad, alta resistencia al desgaste, muy buen coeficiente de deslizamiento, buena resistencia química, buenas propiedades térmicas, muy buena barrera a CO<sub>2</sub>, aceptable barrera a O<sub>2</sub> y humedad, reciclable. Está aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios.

Es liviano, presenta alto grado de transparencia y brillo, que conserva el sabor y el aroma de los alimentos. Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material ha alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes y láminas.

Entre las aplicaciones que tiene el PET, se encuentran: envases de bebidas carbonatadas, aguas minerales, aceite, zumos, tés, vinos y bebidas alcohólicas, detergentes y productos de limpieza, productos cosméticos, salsas y otros alimentos, productos químicos y lubricantes, productos para tratamientos agrícolas, películas, contenedores alimentarios, cintas de audio/video, fotografía, aplicaciones eléctricas, electrónicas, embalajes especiales y de rayos X.

Otros usos son: tubos, perfiles, paredes, piezas inyectadas, fibras, textiles, marcos, construcción

**Toxicidad:** el PET no contiene ni Bisfenol A (BPA) ni ftalatos, cuando es puro y duro, pero puede contener BPA y ftalatos a través de los aditivos que se le añaden en el proceso de fabricación. No hay manera de poder distinguir el plástico PET con aditivos del sin aditivos.

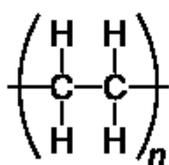
El PET está indicado para un solo uso, ya que reusar este tipo de plástico puede ser peligroso principalmente por la facilidad de alojar bacterias en él.

En la producción del PET utilizan trióxido de antimonio como catalizador; no se debe usar el PET a temperaturas mayores de 50 °C para evitar migración. Puede contener formaldehído, que se utiliza como bactericida o conservante. Es un carcinógeno que puede estar presente, en pequeñas cantidades, en botellas de plástico de PET.

**Reciclaje del PET:** Se puede reciclar de manera mecánica o química. Últimamente se está reciclando las botellas de agua y de refrescos para hacer ropa (Poliéster).

### Polietileno

El **polietileno** (PE) es químicamente el polímero más simple. Se representa con su unidad repetitiva  $(-CH_2-CH_2-)_n$ .



Es uno de los plásticos más comunes debido a su bajo precio y simplicidad en su fabricación. Es químicamente inerte. Se obtiene de la polimerización del etileno (de fórmula química  $CH_2=CH_2$  denominado *eteno* por la IUPAC), del que deriva su nombre. Este polímero puede ser producido por diferentes reacciones de polimerización

### Polietileno de alta densidad (HDPE, PEHD o PEAD)

Es un polímero termoplástico formado por unidades de etileno.

**Propiedades:** alta resistencia química y térmica; resistencia a los impactos; sólido, incoloro; facilidad de procesar; flexible pero con rigidez; ligero, impermeable e higiénico; resistente al agua, a ácidos y a varios disolventes. El polietileno de alta densidad es un polímero termoplástico producido a partir del monómero etileno.

El proceso de producción de HDPE incluye las siguientes etapas:

**Polimerización:** los monómeros de etileno se polimerizan en disolvente junto con catalizador, hidrógeno y un co-monómero. El calor de polimerización se transfiere a través de un intercambiador de calor de circulación externa. El polietileno de alta densidad, a diferencia del polipropileno, no puede soportar las condiciones de autoclave normalmente requeridas. La falta de ramificación se asegura mediante una elección adecuada del catalizador

**Separación y secado:** la suspensión pasa a una centrífuga donde se separa el polvo húmedo. El solvente separado se regresa al reactor, mientras que los polvos húmedos se transfieren a un secador donde los solventes se evaporan con nitrógeno y vapor vivo. Los solventes son recuperados mediante un depurador

**Extrusión:** los polvos ya secos se transfieren a un extrusor donde se funden y granulan.

**Almacenamiento y Envasado:** los gránulos son transferidos al silo de pellets son enfriados por aire y homogeneizados.

Tiene una alta relación resistencia-densidad, se utiliza en la producción de botellas de plástico, tuberías resistentes a la corrosión, membranas y madera plástica. El HDPE se recicla comúnmente y tiene el número "2" como código de identificación de la resina. A diferencia del polietileno de baja densidad (LDPE), que es más flexible por la presencia de ramificaciones de hasta cuatro carbonos, el HDPE es más rígido por no tener cadenas laterales.

HDPE, se caracteriza por una ramificación mínima de la cadena polimérica. Menos ramificación significa que las moléculas lineales se unen bien durante la cristalización, haciendo al HDPE mucho más denso y rígido

El mercado de polietileno de alta densidad (HDPE) se valoró en alrededor de 45 millones de toneladas en 2020.

**Propiedades termofísicas del polietileno de alta densidad (HDPE):** Densidad=940 kg/m<sup>3</sup>

Punto de fusión=130.8 °C; Temperatura de cristalización=111.9 °C; Cristalinidad del 60%

El HDPE es conocido por su alta relación resistencia-densidad. La densidad del HDPE oscila entre 930 y 970 kg/m<sup>3</sup>. Aunque la densidad del HDPE es solo marginalmente más alta que la del polietileno de baja densidad, el HDPE tiene poca ramificación, lo que le otorga fuerzas intermoleculares y resistencia a la tracción más fuertes (38 MPa frente a 21 MPa) que el LDPE. La diferencia de fuerza supera la diferencia de densidad, con lo cual el HDPE tiene una fuerza específica más alta. También es más duro y opaco y puede soportar temperaturas algo más altas (120 °C por períodos cortos). Es resistente a muchos solventes, por lo que no puede pegarse mediante químicos; las uniones de las tuberías deben realizarse mediante soldadura por termofusión. Las tuberías construidas con HDPE son ideales para agua potable y aguas residuales.

**Aplicaciones del Polietileno de alta densidad:** Envases para detergentes, lejía, aceites automotores, champú, lácteos; bazar y menaje; cajones para pescados, gaseosas, cervezas; envases para pintura, helados, aceites; Tambores; Tuberías para

gas, telefonía, agua potable, minería, láminas de drenaje y uso sanitario; Guías de cadena, piezas mecánicas.

También se usa para recubrir lagunas, canales, fosas de neutralización, depósitos de agua, recubrimientos interiores de depósitos, plantas de tratamiento de aguas, lagos artificiales, etc.; biberones para bebé; juguetes; cubos.

El polietileno de alta densidad es uno de los plásticos seguros, y el más utilizado. No tiene componentes tóxicos y en él se pueden almacenar alimentos.

### Polietileno de baja densidad (PEBD, LDPE)

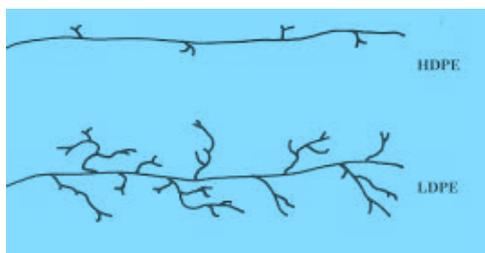
Es un termoplástico a base del monómero etileno. Fue el primer tipo de polietileno, producido en 1933 por Imperial Chemical Industries mediante un proceso de alta presión que involucraba polimerización por radicales libres. Su fabricación sigue empleando el mismo método. La EPA estima que el 5,7 % del LDPE se recicla en los Estados Unidos. A pesar de la competencia de los polímeros más modernos, el LDPE continúa siendo un grado plástico importante.

El *mercado de polietileno de baja densidad (LDPE)* se valoró en más de 22 millones de toneladas en 2021.

El LDPE no contiene tóxicos, por lo tanto, es ideal para su uso alimenticio

El LDPE se define por un rango de densidad de 917 a 930 kg/m<sup>3</sup>. A temperatura ambiente no es reactivo, excepto a oxidantes fuertes; algunos solventes hacen que se hinche. Puede soportar temperaturas de 65 °C continuamente y 90 °C por un corto tiempo. Fabricado en variaciones translúcidas y opacas, es bastante flexible y resistente.

El LDPE tiene más ramificaciones (en aproximadamente el 2 % de los átomos de carbono) que el HDPE, por lo que sus fuerzas intermoleculares (atracción dipolo inducida por dipolo instantáneo) son más débiles, su resistencia a la tracción es menor y su resiliencia es mayor. Las ramificaciones laterales significan que sus moléculas están menos apretadas y menos cristalinas y, por lo tanto, su densidad es menor. Cuando se expone a la luz solar constante, produce cantidades significativas de dos gases de efecto invernadero: metano y etileno.



**Propiedades:** LDPE tiene alta resistencia química y térmica; resistencia a los impactos; facilidad de procesar; flexibilidad, mayor que el polietileno de alta densidad;

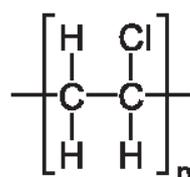
transparente u opaco, dependiendo de su espesor; tiene dificultades para poder imprimir, pintar o pegar sobre su superficie.

El LDPE se utiliza ampliamente para la fabricación de varios recipientes, botellas dispensadoras, botellas de lavado, tubos, piezas de plástico para componentes informáticos y diversos equipos de laboratorio moldeados. Su uso más común es en bolsas de plástico.

**Aplicaciones del Polietileno de baja densidad:** Bolsas de todo tipo: supermercados, panificación, congelados, industriales, etc.; películas para actividades agropecuarias; Envasado automático de alimentos y productos industriales: leche, agua, plásticos, etc; Film transparente (stretch film); Base para pañales desechables; bolsas para suero; contenedores herméticos domésticos; Tubos y pomos: cosméticos, medicamentos y alimentos; Tuberías para riego.

### Policloruro de vinilo (PVC)

PVC es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo.



#### Monómero cloruro de vinilo

Es el tipo de plástico más versátil, formado por la combinación de cloro y carbono.

Puede ser tanto rígido como flexible, según su proceso de producción. Es dúctil y tenaz y tiene alta resistencia ambiental. Es de baja densidad, alta resistencia a la abrasión y al impacto. Estable e inerte, higiénico. No se quema con facilidad; es eficaz para aislar cables eléctricos; bajo costo de instalación; tiene resistencia a la corrosión; es reciclable.

El material comienza a reblandecer alrededor de los 80 °C y se descompone por arriba de 140 °C. Tiene una muy buena resistencia eléctrica y a la llama. El átomo de cloro enlazado a uno de cada dos átomos de carbono le confiere características amorfas principalmente e impiden su recristalización.

En la industria existen dos tipos de PVC, rígido y flexible.

**PVC Rígido** se utiliza en envases, ventanas, tuberías, las cuales han reemplazado en gran medida al hierro, que se oxida más fácilmente.

**PVC Flexible** se emplea en cables, juguetes, calzados, pavimentos, recubrimientos, techos tensados.

El PVC se caracteriza por ser dúctil y tenaz; presenta estabilidad dimensional y resistencia ambiental. Además, es reciclable por varios métodos.

Tiene una elevada resistencia a la abrasión, junto con una baja densidad (1,32 - 1,42 g/cm<sup>3</sup>), buena resistencia mecánica y al impacto, lo que lo hace común e ideal para la edificación y construcción.

Al utilizar aditivos tales como estabilizantes, plastificantes entre otros, el PVC puede transformarse en un material rígido o flexible, característica que le permite ser usado en un gran número de aplicaciones.

Es estable e inerte por lo que se emplea extensivamente donde la higiene es una prioridad, por ejemplo, los catéteres y las bolsas para sangre y hemoderivados están fabricadas con PVC, así como muchas tuberías de agua potable.

Es un material altamente resistente; los productos de PVC pueden durar hasta más de sesenta años como se comprueba en aplicaciones tales como tuberías para conducción de agua potable y sanitarios; PVC tiene prolongada duración en marcos de puertas y ventanas.

Debido a los átomos de cloro que forman parte del polímero PVC, no se quema con facilidad ni arde por sí solo y cesa de arder una vez que la fuente de calor se ha retirado. Los perfiles de PVC empleados en la construcción para recubrimientos, cielorrasos, puertas y ventanas, se debe a la poca inflamabilidad que presenta.

Se emplea eficazmente para aislar y proteger cables eléctricos en el hogar, oficinas y en las industrias debido a que es un buen aislante eléctrico.

Se vuelve flexible y moldeable sin necesidad de someterlo a altas temperaturas (basta unos segundos expuesto a una llama) y mantiene la forma dada y propiedades una vez enfriado a temperatura ambiente, lo cual facilita su modificación.

Tiene un alto valor energético. Cuando se recupera la energía en los sistemas modernos de combustión de residuos, donde las emisiones se controlan cuidadosamente, el PVC aporta energía y calor a la industria y a los hogares.

Amplio rango de durezas, resistente al agua y muy resistente a la corrosión.

El PVC se utiliza mayormente en la construcción (60-70 % de la producción)

Los productos de PVC destinados a un solo uso constituyen un 15% del consumo del PVC, un porcentaje muy inferior al resto de plásticos. De esa cantidad, el 70% se destina a dispositivos médicos. El resto es film para envoltorio de alimentos frescos (cling film flexible), blíster (film rígido) para medicamentos y otros usos, films termosellables para frascos, etc.

El PVC fue muy utilizado en envases en forma de botellas y frascos, para agua, champú, aceite comestible, aceite para auto, etc. pero ha sido reemplazado por PET y poliolefinas en estos usos. Se sigue utilizando, por sus propiedades de adherencia, resistencia al estiramiento y punzado y excelente aptitud para conservación de

alimentos, como film adherente para conservación. Otro uso del PVC en envasado es el blíster para conservación de pastillas o cápsulas.

El PVC tiene un impacto medioambiental mínimo en cuanto a emisión de CO<sub>2</sub>, si se compara con los mismos productos fabricados en metal o vidrio. La durabilidad combinada con resistencia química del PVC lleva a un rendimiento efectivo y una larga vida útil de los productos fabricados con este material. Una gran parte de productos de PVC es de larga duración, lo cual asegura el máximo rendimiento de los recursos naturales consumidos en su fabricación.

Alrededor del 85% del PVC se utiliza para productos de larga duración que duran entre 15 y 100 años. Estos son materiales de construcción como marcos de ventanas, tuberías de distribución y drenaje de agua y aislamiento y conductos de cables eléctricos. Alrededor del 10% de los productos se utilizan entre dos y 15 años, como carcasas de computadoras, piezas de automóviles y muebles. Menos del 5% se usa para aplicaciones de corta duración, como empaques y cosas que solo se pueden usar una vez, como productos médicos. En general, el PVC no está diseñado para ser desechado y no genera grandes volúmenes de residuos. El PVC es reciclable; tiene la historia más larga de reciclaje entre los plásticos. Su reciclado mecánico está considerablemente desarrollado en ciertos países.

**Toxicidad del PVC:** El PVC debido a su alto contenido de cloro, cuando el PVC arde, (a diferencia de otros plásticos como el polietileno o el polipropileno), produce vapores tóxicos de cloruro de hidrógeno.

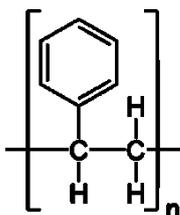
Por otra parte, para en la fabricación de PVC flexible, se agregan plastificantes. Se utilizan varios productos diferentes como plastificantes, incluidas categorías de productos químicos conocidos como ftalatos (o ésteres de ftalatos), citratos y adipatos, que son cuestionados porque pueden tener efectos androgénicos (es decir, efectos sobre la hormona masculina). Determinados ftalatos, así como sus metabolitos y productos de degradación, pueden provocar efectos adversos en la salud humana, en particular, en el hígado y riñones y en los testículos. Algunos plastificantes tienen también propiedades como perturbadores endócrinos o son, incluso, sospechosos de ser cancerígenos. El uso de estos ftalatos es especialmente crítico en aplicaciones donde el PVC tiene contacto con soluciones fisiológicas como por ejemplo en bolsas de sangre o catéteres. También existen riesgos ocasionados por el uso de ftalatos en determinados juguetes y artículos de puericultura de PVC blando ya que se desprenden de los juguetes y artículos de puericultura. Por estas razones, el Comité de Expertos recomienda buscar alternativas más ecológicas a los plastificantes empleados en la actualidad para estas aplicaciones

Los estabilizantes, que se utilizan para reducir la sensibilidad del PVC al calor y luz ultravioleta están compuestos de sales de metales pesados como el plomo, bario, calcio o cadmio. Los sustitutos principales son los estabilizantes de calcio/zinc y los órgano/estánicos. Los compuestos de calcio/zinc presentan un perfil de riesgo más

ventajoso que los de plomo/cadmio y actualmente no están clasificados como peligrosos.

PVC puede producir dioxinas si se incinera a bajas temperaturas. Las dioxinas son consideradas contaminantes orgánicos que se forman de manera espontánea, en cantidades traza, específicamente en procesos de combustión, cuando hay oxígeno, carbón e hidrógeno y cloro, a temperaturas entre 200 y 650°C y bajo condiciones de alcalinidad. Se forman durante la combustión a temperaturas del orden de 371° C; no pueden formarse a temperatura ambiente o a bajas temperaturas (Plastivida, Boletín informativo N°23, 2007). La exposición excesiva a dioxinas puede causar los efectos significativos sobre la salud humana, afectando a órganos importantes como el corazón, sistema inmune, hígado, piel y la glándula de tiroides, llegando incluso a provocar cáncer reproductivo. Las dioxinas se destruyen a temperaturas mayores de 800 °C. Esa es la razón por la cual el proceso de incineración requiere temperaturas elevadas, superiores a 850 °C. Para destruir grandes cantidades de material contaminado se necesitan temperaturas aún más elevadas, de 1000°C (Organización Mundial de la Salud <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/dioxins-and-their-effects-on-human-health>)

### Poliestireno (PS).



#### Monómero de estireno

Es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno monómero.

La primera producción industrial de poliestireno cristal fue realizada por BASF, en Alemania, en 1930. El PS expandido y el PS antichoque fueron producidos en las décadas siguientes. Desde entonces los procesos de producción han mejorado sustancialmente y el poliestireno ha dado lugar a una industria sólidamente establecida.

En 2021 se produjeron 20,7 millones de toneladas de PS lo cual representó el 5,3 % de la producción mundial. El PS es ampliamente utilizado en la fabricación de productos desechables para la alimentación, como vasos, platos y bandejas. Es común encontrar poliestireno en partes de refrigeradores y otros electrodomésticos debido a sus propiedades aislantes. Los aparatos electrónicos también se benefician del uso de poliestireno en su fabricación, ya que proporciona una excelente protección contra la electricidad estática.

En el sector médico, el poliestireno se utiliza en una variedad de aplicaciones, desde envases para medicamentos hasta componentes de dispositivos médicos.

**Tipos de poliestireno:** Dentro de los productos de poliestireno se pueden identificar tres familias principales, el Poliestireno Cristal o de uso general (GPPS por su acrónimo en inglés), el Poliestireno Alto Impacto (HIPS) y el Poliestireno Expandible (EPS).

**Poliestireno Cristal:** es un termoplástico rígido, de excelente transparencia y rigidez, que por sus propiedades estéticas, mecánicas e inocuas con la salud y el medio ambiente se utiliza en numerosas aplicaciones de consumo, tales como: *Envases:* platos, vasos y cubiertos; *Cuidado de la Salud:* cajas de Petri, horquetas para hilo dental, dosificadores de jarabes y suspensiones, estuches para cosméticos; *Productos de Consumo e Institucionales:* ganchos para ropa, juegos de geometría, plumas y lapiceros, joyería etc.; *Construcción y Mobiliario:* difusores de iluminación, espuma de aislamiento térmico y acústico; anaqueles de refrigeradores.

**Poliestireno Alto Impacto:** incluye un componente que incrementa su resistencia mecánica, al mismo tiempo que le confiere opacidad y ductilidad. Este balance de propiedades lo hace un termoplástico muy útil en segmentos como *Envases:* de yogurt, crema, gelatina y lactobacilos, palitos de paleta; *Cuidado de la salud:* bandejas de instrumental médico y farmacéutico, rastrillos desechables; *Productos de Consumo e Institucionales:* Ganchos para ropa, rastrillos, despachadores de jabón en espacios públicos, juguetes didácticos, lápices plásticos y sacapuntas; *Eléctricos y Electrónicos:* Gabinete interno de refrigeradores, carcasas de impresoras, gabinetes de aire acondicionado, detectores de humo; *Publicidad:* lámina para anuncios y señalización.

**Poliestireno Expandido:** se obtiene mediante la incorporación de un agente de expansión a pequeñas esferas de poliestireno, que por acción de éste y de la temperatura incrementan su volumen y reducen su densidad, de modo que una vez transformado en producto final le confiere al poliestireno, además de su estabilidad mecánica e inocuidad, propiedades de ligereza y excelente aislamiento térmico y acústico. El balance de estas propiedades lo hace entonces un material altamente apreciado en aplicaciones como *Envases:* vasos térmicos, hieleras, tortilleros, protección para botellas de vidrio; *Construcción:* aligerante de losa, aislamiento térmico y acústico, preformas decorativas; *Agricultura:* recipientes para almácigos en invernaderos; *Cuidado de la Salud y Farmacéutica:* recipientes para transporte y protección de viales, vacunas y muestras clínicas; *Eléctricos y Electrónicos:* empaque protector de pantallas, estufas, lavadoras y equipo de cómputo; *Artículos deportivos y de seguridad:* chalecos salvavidas, entrenadores de natación, cascos de ciclismo, asientos infantiles y portabebés para automóviles; *Productos Misceláneos:* juguetes didácticos, formas diversas para utensilios escolares y manualidades.

**Plásticos de un solo uso:** son productos como vasos, platos, bandejas, contenedores, sorbetes y vajilla plástica que se utiliza para expender y consumir

bebidas y comidas de manera segura. Los comercios los eligen porque son higiénicos, cuidan la salud de las personas y evitan el desperdicio de los alimentos. Están aprobados por el Código Alimentario Argentino para esta finalidad (capítulo IV, artículos 207 y siguientes)

Conocidos como “descartables”, si bien estos productos no son concebidos para la reutilización, son enteramente reciclables. Son fabricados con poliestireno (PS), polipropileno (PP), PET y al reciclarse, son recursos recuperables. El principal desafío es aumentar su separación en origen para reintroducirlos en la industria recicladora. (Ecoplas, 2023)

### 1.4 Codificación de plásticos

Existe una gran variedad de plásticos y para clasificarlos, se usa un sistema de codificación que se muestra en la Tabla 1. 4. Los productos llevan una marca que consiste en el símbolo internacional de reciclado con el código correspondiente en medio según el material específico. El objetivo principal de este código es la identificación del tipo de polímero del que está hecho el plástico para su correcto reciclaje.

En Argentina, la norma IRAM 13700 “Símbolos gráficos de codificación para la identificación de la resina” establece que los materiales plásticos se deben identificar con un triángulo conteniendo un número del 1 al 7 permitiendo su separación para ser reciclados.

**Tabla 1 .4 Codificación internacional para los distintos plásticos.**

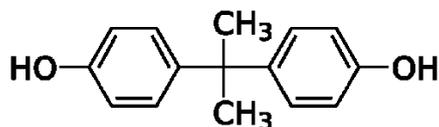
Tipo de plástico:	Polietileno Tereftalato	Polietileno de alta densidad	Policloruro de vinilo	Polietileno de baja densidad	Polipropileno	Poliestireno	Otros
<b>Acrónimo</b>	PET	PEAD/ HDPE	PVC	PEBD/ LDPE	PP	PS	Otros
<b>Código</b>	1	2	3	4	5	6	7



El grupo 7 de los plásticos codificados incluye estireno acrilonitrilo (SAN), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), policarbonato (PC) y nylon, los cuales rara vez se reciclan mediante procesos mecánicos. Policarbonato (PC) es resistente, estable y transparente, es un **excelente plástico de ingeniería tan claro como el vidrio y doscientas cincuenta veces más fuerte**. Las láminas de policarbonato transparente son fáciles de trabajar, moldear y, aunque es extremadamente fuerte y resistente a los impactos, el plástico de policarbonato posee una flexibilidad de diseño inherente. Se encuentra en una gran variedad de productos, como invernaderos, material con el que se producían DVD, gafas de sol, equipos antidisturbios, etc.

Hay que señalar que en plásticos de policarbonato, así como en resinas epoxídicas y en PVC se encuentra presente una sustancia cuestionada como el bisfenol A (BPA). Es una sustancia química que se ha utilizado para fabricar ciertos plásticos y resinas desde los años cincuenta.

El bisfenol A, es un compuesto orgánico con dos grupos funcionales fenol. Es un bloque bifuncional de muchos importantes plásticos y aditivos plásticos. Por su capacidad de unirse a los receptores de estrógenos se le conoce como un potencial disruptor endocrino que afecta la salud. Este compuesto consiste en dos anillos fenólicos (anillo bencénico con un grupo OH) unidos por la parte central a una molécula de propano de forma simétrica. El nombre técnico es, por tanto, 2,2-bis (4-hidroxifenil) propano.



### Fórmula química del Bisfenol A

## 1.5 El problema de los aditivos en productos plásticos

En el procesamiento de los polímeros para llegar a ser un producto plástico final, se les incorpora aditivos químicos que le imparten al producto final ciertas propiedades consideradas deseables (resistencia a los rayos UV, flexibilidad, color, etcétera). Con la incorporación de los aditivos, se pueden fundir, hilar, extruir o moldear de otro modo los materiales poliméricos básicos (pellets, gránulos o escamas), con el fin de fabricar el producto plástico terminado para el consumo final.

El uso generalizado de aditivos químicos en las formulaciones de polímeros, muchos de los cuales son tóxicos, es un importante desafío para el reciclado de los plásticos. La combinación de aditivos que se utiliza en la producción del plástico depende de la aplicación del polímero.

Mientras que algunos de los aditivos inertes, como las arcillas y el talco, son relativamente benignos, muchos aditivos además de ser tóxicos para los seres humanos, son contaminantes ambientales (Takada y Bell, 2021).

Los aditivos se pueden dividir en cuatro categorías principales:

- Los aditivos funcionales (estabilizadores UV, agentes antiestáticos, retardantes de llama, plastificantes, lubricantes, agentes antideslizantes, agentes de curado, agentes espumantes, biocidas, etc.).
- Los colorantes (pigmentos, azocolorantes solubles, etc.).
- Los rellenos (mica, talco, caolín, arcilla, carbonato de calcio, sulfato de bario)
- Los refuerzos (por ejemplo, fibra de vidrio, fibra de carbono).

Los aditivos utilizados más comúnmente en diferentes tipos de materiales poliméricos para envases son plastificantes, retardantes de llama, antioxidantes, adsorbentes de ácido, estabilizadores de luz y calor, lubricantes, pigmentos, agentes antiestáticos, compuestos deslizantes y estabilizadores térmicos.

De los aditivos funcionales, los plastificantes, los estabilizadores y los retardantes de llama tienden a ser los más preocupantes para la salud humana, aunque algunos colorantes y rellenos también pueden ser problemáticos.

Se analizan a continuación algunos de los aditivos funcionales más problemáticos.

Los **aditivos retardantes de llama** pueden ser extremadamente tóxicos y tener una alta concentración en peso en el polímero, especialmente entre los residuos más viejos de plásticos en aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y los plásticos para automóviles. Estos aditivos comúnmente tienen compuestos de bromo y se conocen como retardantes de llama bromados (BFR por sus siglas en inglés) para reducir su inflamabilidad. Los plásticos que contienen BFR se producen en grandes volúmenes; en los automóviles, los plásticos en los tableros, los asientos y la tapicería, a menudo se les aplica un tratamiento fuerte de retardantes de llama con la intención de reducir el riesgo de incendios. En productos de la electrónica, muchas veces se le aplica un tratamiento con retardantes de llama a las carcasas de los televisores y las computadoras, además del aislamiento de los cables debido al riesgo de incendio por cortocircuitos eléctricos, etc. Algunos retardantes de llama son tan tóxicos y persistentes que han sido identificados como COP (contaminantes orgánicos persistentes) y se les ha sometido a eliminación mediante el Convenio de Estocolmo. Estos COP bromados se conocen como COP-BFR.

Concretamente, el hexabromobifenilo (HBB), el pentaBDE comercial, el octaBDE comercial, el decaBDE comercial, el hexabromociclododecano (HBCD) y las parafinas cloradas de cadena corta (PCCC) han quedado incluidos en los anexos del Convenio como COP.

Incluso una vez prohibidos, estos aditivos siguen estando presentes en los residuos plásticos durante muchos años, ya que los productos en los que se utilizaron pueden tardar años o décadas en llegar al final de su ciclo de vida y entrar en el flujo de residuos. Los plásticos que contienen COP-BFR pueden generar una exposición peligrosa para quienes trabajan en el reciclado, incluyendo las liberaciones de dioxinas bromadas en la fase de refundición y extrusión. A menos que se separen cuidadosamente de los polímeros que no están contaminados por los COP-BFR, estos pueden filtrarse a la cadena general del reciclado de polímeros, terminando en productos como juguetes y utensilios de cocina con lo cual aumenta la exposición humana, especialmente entre los niños. También se pueden filtrar a materiales que entran en contacto con alimentos y productos domésticos

**Los aditivos plastificantes** también tienen un potencial significativo que tiene un impacto sobre la salud humana (Takada y Bell, 2021).

Alrededor de un 80% de todos los plastificantes se utilizan en plásticos de cloruro de polivinilo (PVC) e incluyen parafinas cloradas de cadena corta, media y larga (PCCC/PCCM/PCCL), ftalato de diisoheptilo (DIHP), ácido 1,2-bencenodicarboxílico, di-C7-11-alquil ésteres ramificados y lineales (DHNUP), ftalato de butil bencilo (BBP), di(2-etilhexil) ftalato (DEHP), bis(2-metoxietil) ftalato (DMEP), ftalato de dibutilo (DBP), ftalato de dipentilo (DPP), di-(2-etilhexil) adipato (DEHA), dioctil adipato (DOA), dietil ftalato (DEP), diisobutilftalato (DiBP), fosfato de tris(2 cloroetilo) (TCEP), ftalato de dicitclohexilo (DCHP), butil bencil ftalato (BBP), diheptil adipato (DHA), heptil adipato (HAD) y heptil octil adipato (HOA), mientras que el 20% restante se utiliza en plástico de celulosa.

El grupo de aditivos plastificantes está dominado por los ftalatos, que pueden tener impactos significativos sobre la salud cuando se lixivian o migran fuera de la estructura polimérica. También pueden tener impactos cuando el plástico llega al final de su ciclo de vida, se degrada en el medio ambiente, se lixivian en los rellenos sanitarios o se quema. Se sabe que los ftalatos son una sustancia química perturbadora del sistema endocrino (EDC) capaz de perturbar el sistema hormonal humano. Esto significa que pueden tener impactos devastadores de gran alcance sobre el feto, a lo largo del desarrollo infantil y en la edad adulta. Los EDC también pueden tener graves impactos sobre la capacidad de la flora, fauna y organismos acuáticos para desarrollarse y reproducirse. Los plastificantes se utilizan comúnmente en envases flexibles para alimentos y materiales que están en contacto con alimentos como aditivos para el envasado hecho de polímeros. Los ftalatos se utilizan en grandes volúmenes en el PVC; más de un 40% del peso del PVC pueden ser plastificantes como los ftalatos.

Las EDC y sus impactos sobre la salud humana son un área creciente de la investigación científica.

Hay muchas rutas a través de las cuales los plásticos pueden liberar los aditivos de las EDC y exponer a los seres humanos. Por ejemplo, el bisfenol-A (BPA) es un

plastificante que se utiliza muy comúnmente y se ha informado que migra a los alimentos desde los biberones de plástico de los bebés, el revestimiento de las latas de alimentos que se ve afectado por el calor y otros tipos de envases de alimentos. Se están produciendo muchos envases de alimentos 'libres de BPA', pero el BPA es una sustancia química de alto volumen y común en los plásticos, por lo que la exposición puede continuar desde una variedad de fuentes.

Los aditivos tóxicos del plástico ingresan al medio ambiente de diversas maneras a través de emisiones, liberaciones, degradación, lixiviación y migración en muchas etapas durante la producción, el uso y el final del ciclo de vida del plástico al que se han agregado.

La capacidad de los aditivos a salir del polímero se incrementa por el hecho de que no están químicamente (covalentemente) 'enlazados' en la cadena polimérica, sino que más bien se encuentran dispersos entre los monómeros. Esto permite una mayor propensión a migrar fuera del polímero hacia el medio ambiente durante todas las fases del ciclo de vida de los plásticos.

Diferentes plásticos pueden lixiviar diferentes aditivos a diferentes velocidades.

Si un polímero tiene una permeabilidad más alta, entonces puede lixiviar aditivos a un ritmo más acelerado. Las diferentes estructuras físicas de los plásticos, como el plástico duro cristalino o flexible gomoso, pueden afectar el proceso de lixiviación. Los polímeros más flexibles o gomosos tienen mayores espacios en la estructura del polímero y se pueden lixiviar más fácilmente que una estructura dura y cristalina. Además, un aditivo de bajo peso molecular se puede lixiviar más rápidamente de la matriz polimérica. La cantidad de aditivos que se pueden lixiviar del plástico depende de muchos factores, incluyendo los efectos del desgaste y de la temperatura, pero en última instancia está limitada por la proporción que tenga en la masa total del plástico.

### **Aditivos estabilizadores de radiación UV**

Proteger los plásticos del ataque de la radiación ultravioleta es fundamental para algunos mercados, especialmente las aplicaciones a la intemperie y las aplicaciones en las que las piezas de plástico están expuestas a la luz. Los estabilizadores de la luz o estabilizadores ultravioleta (UV) se utilizan para proteger los plásticos, especialmente las poliolefinas, de la decoloración, la fragilización y la eventual degradación por la luz UV. En el pasado, la principal preocupación se relacionaba con los estabilizadores UV a base de metales pesados en el PVC, como plomo y cadmio, que fácilmente se lixivian al medio ambiente y son muy problemáticos.

Las tres clases principales de estabilizadores de luz son:

i) Absorbentes de UV; ii) Inhibidores del estado de excitación, iii) Canceladores o destructores de radicales libres

Los mecanismos de estabilización incluyen la inhibición de las reacciones de iniciación mediante la incorporación de aditivos para filtrar la energía UV, para absorberla preferentemente o para amortiguar el estado excitado; la inhibición del proceso de propagación de la reacción mediante la incorporación de aditivos que reaccionarán químicamente con los radicales libres y los hidroperóxidos tan pronto como se formen para hacerlos inofensivos. Cada clase recibe el nombre del mecanismo por el que previene la degradación.

Los principales tipos de estabilizadores de luz pueden clasificarse por su composición química. También se pueden utilizar combinaciones de varios estabilizadores, ya que pueden mejorar el rendimiento y el costo.

**Absorbedores de luz ultravioleta:** Este tipo de estabilizadores inhiben el inicio del proceso de degradación por radiación UV. Una vez que absorben preferentemente la energía UV, la convierten en una forma no destructiva como la energía infrarroja, que se disipa inofensivamente en forma de calor. Los absorbentes son más eficaces en las secciones transversales más gruesas que en las finas, como las películas y las láminas, y pueden no proporcionar a la superficie una protección suficiente. Los absorbentes UV de benzofenona se han utilizado durante muchos años en poliolefinas, PVC y otras resinas. Los absorbentes UV de benzotriazol son muy eficaces en resinas de alta temperatura como los acrílicos y los policarbonatos. También se utilizan mucho en la industria de los revestimientos.

Existe una creciente preocupación por los estabilizadores de rayos UV, basados en benzotriazol fenólico (BT). Esto se debe principalmente a que comparten una estructura fenólica que es la estructura necesaria para que las moléculas se enlacen con los receptores del estrógeno humano y por lo tanto, potencialmente pueden perturbar la actividad del sistema endocrino

Se ha comprobado que el estabilizador benzotriazol UV-328 (2-(2H-benzotriazol- 2-yl)-4,6-ditertpentilfenol) y los estabilizadores BT asociados (UV-326 y UV-327) presentan propiedades tóxicas, persistentes y bioacumulativas (TPB). Son tóxicos para los mamíferos, son peligrosos para la salud humana y el medio ambiente, ya que pueden causar daños al hígado y a los riñones a través de la exposición oral prolongada. Esto condujo a propuestas para su clasificación como sustancia COP y por el Convenio de Estocolmo se los sometería a su eliminación mundial. ( Takada y Bell , 2021)

**COMPLEJOS ORGÁNICOS DE NÍQUEL:** Este tipo de estabilizadores protegen contra la degradación causada por la luz UV mediante el amortiguamiento del estado de excitación. Estos desactivadores de iones metálicos aprovechan la energía antes de que pueda romper cualquier enlace molecular y generar radicales libres. Los complejos de níquel se utilizan principalmente en aplicaciones de fibras de poliolefina. Algunos ejemplos de complejos de níquel son el dibutilditiocarbamato de níquel y el níquel 2,2-tiobis (4-octilfenolato)-n-butilamina, que también se utilizan en películas agrícolas por su resistencia a los pesticidas.

**HALS:** Los estabilizadores de luz de aminas impedidas o HALS por sus siglas en inglés (hindered amine light stabilizers) son el tipo más reciente de estabilizadores de luz UV. Los HALS no filtran la luz UV, sino que estabilizan la resina mediante la terminación de los radicales libres. Los HALS se utilizan a niveles más bajos que las benzofenonas y los benzotriazoles y se utilizan ampliamente en las poliolefinas por su costo y rendimiento.

La elección del estabilizador UV depende de factores como la aplicación, las características del polímero (especialmente su espectro de absorción), el efecto del estabilizador sobre el color y la vida útil prevista del producto. Otro factor que debe tenerse en cuenta es la toxicidad, ya que la mayoría de los estabilizadores UV orgánicos tienden a migrar a la superficie. El mecanismo de estabilización puede variar de un polímero a otro.

El uso de filtros UV es otra técnica para proteger una pieza de plástico de los efectos de los rayos UV. Estos filtros UV son en realidad pigmentos que hacen que el polímero sea translúcido u opaco y que absorben o reflejan la luz UV, protegiendo así el polímero.

El negro de humo (si se puede tolerar el color) es un filtro UV muy eficaz. Absorbe toda la gama de rayos UV y visibles, puede utilizarse en bajas concentraciones y también puede actuar como eliminador de radicales libres. También son eficaces las altas cargas de dióxido de titanio y otros pigmentos. El óxido de zinc, en particular, ha sido el objeto de varios proyectos con polipropileno.

### 1.6 Producción de plásticos en Argentina

La función de la industria petroquímica radica en la transformación de gas natural y petróleo en materias primas, las cuales son la base de diversas cadenas productivas. La actividad resulta fundamental para el crecimiento y desarrollo de importantes cadenas fabriles, dado que el sector petroquímico abastece multitud de sectores económicos, tales como el textil, la plástica, el de fertilizantes, el farmacéutico y químico, entre muchas otras.

En Argentina existen nueve áreas y polos químicos y petroquímicos: Río Tercero, San Lorenzo (Santa Fe), Campana-San Nicolás, Dock Sud, Ensenada, Plaza Huincul ( Neuquén), San Luis, Bahía Blanca y Luján de Cuyo ( Mendoza).

La producción de plásticos se encuentra actualmente en polos petroquímicos localizados en la Pcia. de Buenos Aires (GBA, Campana-San Nicolás, Ensenada, Bahía Blanca), la Pcia. de Santa Fé (San Lorenzo-Puerto San Martín), la Pcia. de Córdoba (Río Tercero) y Pcia. de Mendoza (Luján de Cuyo). (Cámara argentina de la Industria plástica)

En Argentina las materias primas plásticas más utilizadas por la industria transformadora son **polietileno PE de alta y baja densidad, polipropileno (PP), PVC**

y **PET**. En Argentina, los plásticos se utilizan desde materiales de construcción hasta dispositivos médicos, pero el embalaje es la mayor aplicación y constituye aproximadamente el 40 % de todo el material utilizado.

En nuestro país en 2017 se produjeron 1.650.410 toneladas de plástico. La mayor producción correspondió a polietileno con 622.220 ton/año, seguido de polipropileno, PVC, PET y Poliestireno

El complejo petroquímico de Bahía Blanca se compone de cuatro empresas (Compañía Mega, Dow Argentina, Profertil, Unipar Indupa) que producen materias primas y productos petroquímicos básicos, intermedios y finales. El policloruro de vinilo (PVC) es el producto final elaborado a partir del VCM (cloruro de vinilo monomero); al igual que el VCM y el dicloroetileno, el PVC es producido por la empresa Unipar Indupa, la cual posee una capacidad instalada de producción de 230 mil toneladas, es la única productora del país y está localizada en Bahía Blanca.

**Tabla 1.5 Capacidad de producción de materiales plásticos en Argentina**

Empresa	Accionistas	Productos	Capacidad anual (2017) (Tns/año)	Localización
PBB Polisor SA	Dow Chemical	LLDPE/LDPE/HDPE	650.000	Bahía Blanca
Unipar-Indupa SA	UNIPAR	PVC	230.000	Bahía Blanca
Petroken SA	Sielecki group	PP y Compuestos PP	180.000	Ensenada (Pcia. BsAs)
Petroquímica Cuyo SA	Sielecki group	PP y PPC	130.000	Luján de Cuyo (Mendoza)
Pampa Energía SA	Pampa Energía	PS	66.000	Zárate (Pcia. de BsAs)
Styroppek SA	Alfa SA	EPS	16.500	San Lorenzo (Pcia. de Sta Fe)
DAK Americas Arg	Alfa SA	PET	185000	Zárate (Pcia. de BsAs)



**Vista de la Planta PBB POLISUR. Bahía Blanca**

PBB Polisor SRL, produce etileno. La producción de polietilenos se divide en tres tipos: de baja densidad convencional, baja densidad lineal y de alta densidad. La empresa encargada de su producción es Dow Argentina, única productora de polietilenos en el país. La fabricación de polietilenos ha oscilado entre las 550 mil y 650 mil toneladas, produciéndose un único descenso cercano a las 500 mil toneladas en el 2019. Se ha producido una intensificación de la producción de polietilenos de baja densidad lineal y de alta densidad y los polietilenos representan el 22,5% de la producción de bienes finales y el 10,4% de la producción de productos petroquímicos total a nivel nacional.

Como resultado de la fusión de Petroquímica Cuyo y Petroken, empresas con más de 30 años de trayectoria y reconocidas en el mercado local e internacional del polipropileno, nació Petrocuyo. Cuyolen es la marca de Polipropileno de la planta de Luján de Cuyo. Incluyen homopolímeros, copolímeros bloque y copolímeros random, aptos para diversas aplicaciones y procesos. Cuyotec es la línea de poliolefinas especiales está destinada a aplicaciones específicas para los mercados de packaging flexible, construcción e industria automotriz. Petroken es la marca de Polipropileno de la planta de Ensenada. Petrocuyo ofrece ahora una gama completa de polipropilenos; homopolímeros, copolímeros de impacto, copolímeros random, poliolefinas especiales y compuestos de PP.

El PET se fabrica mediante la combinación de un compuesto orgánico etilenglicol con ácido tereftálico. En un segundo paso la resina de PET se funde para crear una figura similar a la de un tubo de ensayo, diseñada con la capacidad de tomar cualquier forma o grosor.

DAK Americas produce PET en la Pcia de Bs As. Está formado por 4 unidades de negocio: Resina de Polietileno Tereftalato (PET), Fibra Corta de Poliéster, Monómeros (TPA/PTA) y Polímeros Especiales.

Pampa Energía es la única productora argentina de estireno monómero, poliestireno y elastómeros y el único productor integrado de productos que van del petróleo y el gas natural a los plásticos. Como parte del esfuerzo para integrar sus operaciones, utiliza un volumen importante de benceno de propia producción para obtener estireno y a su vez cantidad sustancial de estireno para la producción de poliestireno y caucho sintético.

La división de petroquímica dispone del complejo petroquímico integrado Puerto General San Martín ("PGSM"), en la provincia de Santa Fe, con una capacidad de producción anual de 50 miles de ton («kton») de gases (gas licuado del petróleo – GLP – que utiliza como materia prima y propelente), 155 kton de aromáticos, 290 kton de gasolina y refinado, 160 kton de estireno, 55 kton de caucho sintético, 180 kton de etilbenceno y 31 kton de etileno. Asimismo, el segmento cuenta con una planta de poliestireno, ubicada en Zárate, provincia de Buenos Aires, con una capacidad de producción de 65 kton. Al 31 de diciembre de 2022, la participación estimada de Pampa en el mercado argentino de estireno, poliestireno y de caucho ascendía a 100%, 94% y 94%, respectivamente.

Existen en el país alrededor de 2.680 empresas de manufacturas plásticas, las cuales emplean en forma directa a 32 mil trabajadores (CAIP). Constituye un sector integrado mayormente por PyMEs. Así, sólo el 2% de las empresas que lo integran tienen más de 100 empleados<sup>4</sup> (CAIP).

Las siguientes Tablas correspondiente al Informe 2019 del Ministerio de Hacienda de Argentina

[https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspmicro\\_cadenas\\_de\\_valor\\_petroquimica\\_plastica\\_1.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspmicro_cadenas_de_valor_petroquimica_plastica_1.pdf) indica la producción de los distintos materiales plásticos en Argentina y las empresas involucradas.

**TABLA 1.6 Producción de materiales plásticos en Argentina. Fuente Ministerio de Hacienda Informe 2019. Cadenas de valor Petroquímica Plástica**

**Petroquímica-plástica. Principales indicadores.**

INDICADOR	VALOR	Var. l.a.	PERÍODO	FUENTE
<b>Producción (toneladas)</b>				
<b>Materias primas plásticas</b>				
Poliétileno	622.299	3,7%	2017	IPA
Polipropileno	292.529	2,6%	2017	IPA
PVC	187.361	-11,9%	2017	IPA
PET	159.000	0,6%	2017	IPA
Poliestireno	83.426	7,9%	2017	IPA
<b>Manufacturas de plástico</b>	<b>1.650.410</b>	<b>3,3%</b>	<b>2017</b>	<b>SSPMicro</b>
<b>Índice de Producción Industrial Manufacturero</b>				
Materias primas plásticas y caucho sintético	102,5	4,6%	dic-18	INDEC
	-	-0,3%	2018	INDEC
Manufacturas de plástico	94,1	-16,6%	dic-18	INDEC
	-	-9,1%	2018	INDEC
<b>Exportaciones (Miles de US\$)</b>				
Materias primas plásticas	774.010	-7,6%	2018	INDEC
Manufacturas de plástico	302.517	15,5%	2018	INDEC
<b>Total</b>	<b>1.076.527</b>	<b>7,9%</b>	<b>2018</b>	<b>INDEC</b>
<b>Importaciones (Miles de US\$)</b>				
Materias primas plásticas	1.374.064	-1,8%	2018	INDEC
Manufacturas de plástico	1.008.787	2,4%	2018	INDEC
<b>Total</b>	<b>2.382.851</b>	<b>-0,1%</b>	<b>2018</b>	<b>INDEC</b>
<b>Empleo registrado</b>				
Materias primas plásticas	3.844	-0,5%	2017	INDEC
Manufacturas de plástico	54.918	-1,5%	2017	INDEC
<b>Total</b>	<b>58.762</b>	<b>-1,5%</b>	<b>2017</b>	<b>INDEC</b>

 Subsecretaría de Programación Microeconómica  
 Secretaría de Política Económica


 Ministerio de Hacienda  
 Presidencia de la Nación

**TABLA 1.7 Empresas que producen resinas plásticas en Argentina. Fuente: Ministerio de Hacienda Informe 2019. Cadenas de valor Petroquímica Plástica**

**Petroquímica-plástica. Productores de resinas plásticas.**
**Existe un productor nacional de cada una de las principales resinas.**

Cuadro 1. Principales productores de materias plásticas. Año 2017

Resina	Empresa	Principales Accionistas	Origen del capital	Capacidad instalada (miles de tn/año)	Producción 2017 (miles de tn)	UCI*
Poliétileno	PBB Polisur	Dow Chemical	Estados Unidos	700	622,3	88,9%
PVC	Unipar Indupa	Unipar Carbocloro	Brasil	230	187,4	81,5%
Polipropileno	Petroquímica Cuyo	Familia Sielecki	Argentina	320	292,5	91,4%
Poliestireno	Pampa Energía	Pampa Energía	Argentina	66	83,4	98,7%
	Stiropek	Grupo Alpek	México	18,5		
PET	DAK Americas	Alfa	México	210	159,0	75,7%
<b>Total Cinco Resinas</b>				<b>1.544,5</b>	<b>1.344,6</b>	<b>87,1%</b>

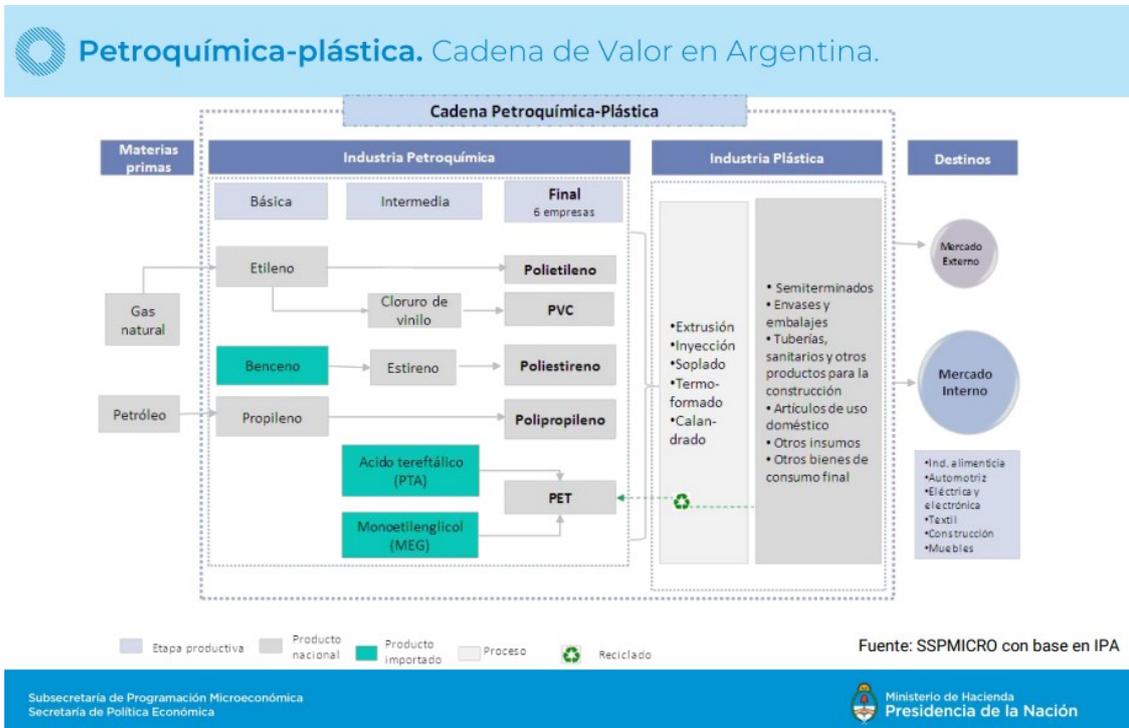
Fuente: SSPMICRO con base en IPA. \* Utilización de la capacidad instalada.

- La producción presenta un alto grado de concentración debido, en gran medida, a que la escala mínima de producción es elevada.
- Las materias primas plásticas se venden al sector transformador en forma de pellets, cuyo precio interno se encuentra cercano al de paridad de importación, siendo sensible a las variaciones del precio internacional de los hidrocarburos, del tipo de cambio y de la política comercial (aranceles).
- En 2017 se concretó la compra de Petroken por parte del Grupo Inversor Petroquímica (Sielecki), quedando un único productor nacional de polipropileno.

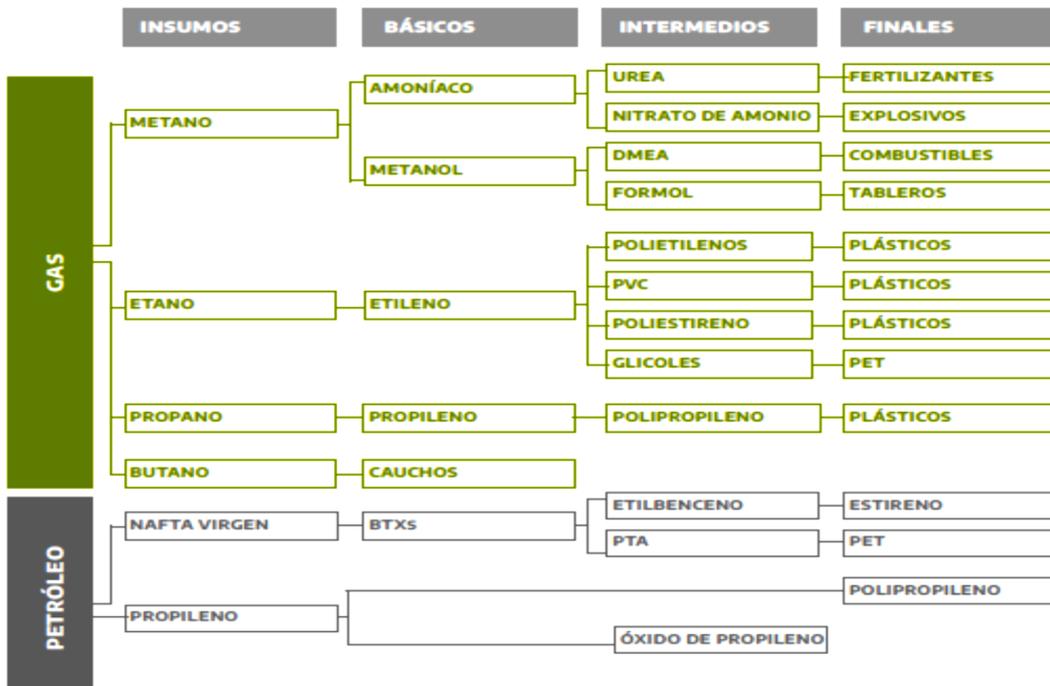
 Subsecretaría de Programación Microeconómica  
 Secretaría de Política Económica


 Ministerio de Hacienda  
 Presidencia de la Nación

**Tabla 1.8 Cadena petroquímica plástica en Argentina.** Fuente: Ministerio de Hacienda Informe 2019. Cadenas de valor Petroquímica Plástica



**Cadena de valor**



Fuente: Cámara de la Industria Química y Petroquímica (CIQyP).

## 1.7 Referencias bibliográficas

Agencia Argentina de Inversiones y Comercio Internacional (2023). INFORME SECTORIAL PARA INVERSORES INTERNACIONALES. Industria /Química

Código Alimentario Argentino (capítulo IV, artículos 207 y siguientes)

Ecoplas (2023). Guía Los Plásticos En La Economía Circular. 7ma edición ISBN: 978-987-47509-0-7

Ministerio de Hacienda Informe 2019. Cadenas de valor Petroquímica Plástica Informe 2019 del Ministerio de Hacienda de Argentina

[https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspmicro\\_cadenas\\_de\\_valor\\_petroquimica\\_plastica\\_1.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspmicro_cadenas_de_valor_petroquimica_plastica_1.pdf).

Organización Mundial de la Salud <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/dioxins-and-their-effects-on-human-health>. Dioxinas . noviembre 2023

Plastics Europa 2019.

[https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2021/11/Plastics\\_the\\_facts-Mar2019-esp.pdf](https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2021/11/Plastics_the_facts-Mar2019-esp.pdf)

Plastics Europe. The fact 2022 ( octubre 2022).

Plastivida (2007) Boletín Técnico Informativo N° 23

Takada H., Bell L. (2021) Los peligros de la gestión de residuos plásticos. Red Internacional de Eliminación de Contaminantes (IPEN)

# Materiales plásticos. Recursos energéticos empleados en su producción. Beneficios y riesgos asociados al uso.

Ing. Hipólito A. Choren

## 2.1 Introducción

La población mundial se aproximará en el año 2050, a 9.500 millones de habitantes, de los cuales el 70% vivirá en zonas urbanas, consumiendo una enorme cantidad de recursos y generando una importante contaminación ambiental, poniendo en riesgo la sostenibilidad del planeta Tierra. Por lo expuesto es fundamental adoptar modalidades de consumo y sistemas de producción sostenibles, que permitan el uso eficiente y la conservación de los recursos naturales, la preservación del medio ambiente y el control de los GEI (responsables del importante cambio climático que se está presentando en la actualidad), con el objetivo de asegurar el desarrollo futuro de la humanidad.

***Lo expuesto precedentemente pone en evidencia la importancia de la ejecución del Análisis del Ciclo de Vida de los productos en general y en particular de los materiales plásticos.*** Estos últimos han tenido un desarrollo actual, que hace prácticamente imposible pensar en su sustitución, en el corto plazo, pero resulta imprescindible encontrar una solución, porque, la enorme vida media de los residuos plásticos (muchos, de los actualmente en uso, superan los 1.000 años de vida media) y su acumulación a nivel terrestre y acuático, ha producido un impacto ambiental de extrema preocupación, a escala mundial, principalmente por la afectación de los ambientes acuáticos, de agua salada y agua dulce.

En el ambiente marino se estima, que para el año 2050, de no adoptarse medidas correctivas inmediatas, los mares tendrán más plásticos que peces (World Economic Forum).

## 2.2 Economía circular

El desarrollo del presente ítem se fundamenta en los principios de la **Economía Circular**, basados en un modelo económico regenerativo que mantiene, dentro de lo posible, los productos, componentes y materiales, en los sistemas productivos y de consumo, preservando su valor, reduciendo la generación de residuos y la utilización de recursos primarios agotables, y minimizando el impacto ambiental y la generación de GEI. Para el desarrollo del tema se considera el Ciclo de Vida asociado a un producto, detallando los conceptos generales que deben tenerse en cuenta, en la realización del Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Ver Anexo: “Transición a la Economía Circular- ONU”

El ciclo de vida, de un producto, es un proceso cronológico que transcurre desde su lanzamiento en el mercado hasta su desaparición (desde la cuna a la tumba), considerándose en dos aspectos, uno comercial (desarrollo, introducción, crecimiento, madurez y declive) y otro ambiental, que es el evaluado, en el presente informe.

Las etapas que conforman el Ciclo de Vida Ambiental de un producto, se indican a continuación:

- **materia prima e insumos** (obtención y procesamiento)
- **proceso de fabricación**
- **distribución y transporte en todas las etapas del Ciclo de Vida**
- **uso y mantenimiento**
- **reutilización una vez completada la vida útil.** Ejemplo, lavado de botellas de vidrio, reutilización de botellas/botellones de plástico en envases de menor requerimiento, etc.
- **reciclaje:**
- **ciclo cerrado.** Ejemplos: fundición, de latas de aluminio, para fabricar nuevas latas, o de residuos plásticos para obtener el producto original.
- **ciclo abierto.** Muchos productos no pueden ser reciclados en ciclo cerrado o sólo pueden reciclarse una sólo vez y por ese motivo deben ser procesados en ciclo abierto, que es el procedimiento aplicado en el reciclo de residuos plásticos tratado en el presente trabajo.

## 2.3 Análisis del ciclo de vida (ACV)

El Análisis de Ciclo de Vida permite evaluar los impactos ambientales asociados a un producto, en las diferentes etapas de su ciclo de vida, considerando, obtención, utilización, reutilización (en diferentes procesos) y/o disposición final. La finalidad es analizar, de forma objetiva, metódica, sistemática y científica, el impacto ambiental originado durante el ciclo de vida.

Existen muchas definiciones del ACV, siendo las más utilizadas las correspondientes a las siguientes normas, cuyas definiciones son muy similares:

- española UNE 150-040-96
- Consejo Nórdico de Ministros
- ISO 10040

La definición de la Norma ISO 10040 indica: *“el Análisis de Ciclo de Vida es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio”*.

## 2.4 Recursos energéticos empleados

Los recursos energéticos empleados en la fabricación de productos en general y en particular de materiales plásticos, comprenden **la totalidad de la energía utilizada y ahorrada, en todas las etapas del Ciclo de Vida, de cada material específico**.

Se indican a continuación, en forma general, los principales aspectos que deben ser considerados, para determinar los recursos energéticos correspondientes a las diferentes etapas del Ciclo de Vida de cada material plástico, a saber:

- a) **obtención de la materia prima**. Las materias primas utilizadas para la elaboración de los materiales plásticos, son productos naturales, principalmente el petróleo y el gas natural, el carbón, la celulosa, el cloruro de sodio y catalizadores específicos para cada tipo de plástico, requeridos en el proceso de polimerización y policondensación.
- b) **traslado de la materia prima** a la planta de elaboración
- c) **elaboración del material plástico**. En el Capítulo 1 ítem 1.1. “Tipos de Plásticos”, precedente, se detallan las dos principales familias de plásticos:

**Termoplásticos:** se funden con el calor y se endurecen cuando se enfrían. Pueden moldearse repetidamente sin que modifiquen en forma importante, sus propiedades, por lo tanto son relativamente fáciles de reciclar.

**Termoestables:** son polímeros de cadenas muy estables, sólo pueden moldearse una sólo vez, por tal motivo son difíciles de reciclar. Para cumplir con este último objetivo, deben utilizarse los procesos tratados en diferentes capítulos del presente informe.

- d) **distribución del material plástico** a los centros de consumo,
- e) **gestión del producto desechado**, luego del uso (residuo)

La prioridad en los procesos de gestión es la indicada en el orden dado a continuación:

### **reutilización:**

- recolección, separación y selección

- reacondicionamiento (lavado, desinfección, etc.),
- gestión: emisiones, efluentes y residuos sólidos del proceso
- distribución a los centros de consumo,

**reciclado:**

- recolección, separación y selección
- proceso de tratamiento
- gestión: emisiones, efluentes y residuos sólidos del proceso
- distribución a los centros de consumo

**incineración (\*):** los residuos plásticos se incineran en forma integrada con los RSU que los contienen, sin efectuar separación, o en forma independiente, si corresponden a materiales plásticos que han sido seleccionados y separados por no resultar posible su reciclado (por ejemplo, los utilizados como combustible en los hornos de cemento).

**descuento de la energía generada,** correspondiente a los materiales plásticos, excluyendo la energía obtenida por los RSU. El cálculo de la energía generada por los materiales plásticos, es una aproximación basada en el contenido de estos últimos en los RSU, determinada en función de datos estadísticos promedio.

**gestión:** de emisiones, efluentes y residuos sólidos del proceso.

**Debe considerarse muy especialmente el tratamiento de purificación de los gases de combustión, originados por la incineración de los materiales plásticos (por ej. emisiones de dioxinas y furanos, dióxido de carbono, etc.).**

Obviamente el dióxido de carbono, también se produce por la incineración de los RSU, por lo expuesto podría considerarse, en la autorización de las plantas de incineración de RSU, **la obligatoriedad, de la captura del dióxido de carbono, para la generación de productos químicos,** por ejemplo de carbonato de sodio o de calcio, utilizados en la industria del vidrio, en la elaboración de productos químicos, en la industria del papel y últimamente, el carbonato de sodio adquirió relevancia en la minería del litio.

**Disposición final en relleno sanitario (\*\*):**

- recolección
- traslado estación de transferencia (compactación)
- traslado al relleno sanitario

**(\*):** Los materiales plásticos tienen un importante poder calorífico (entre 6.000 y 10.000 kcal/kg), el que podría aprovecharse, si se realiza la recuperación energética, utilizándolo como combustible, conjuntamente con los RSU (el poder calorífico superior en base húmeda, de los RSU de CABA y AMBA, es de aproximadamente 3.000 kcal/kg). De esta forma se reduciría el uso de combustibles derivados del petróleo y del gas natural, por ejemplo, generando energía eléctrica, lo que representaría una menor emisión de GEI. La emisión de CO<sub>2</sub> en el proceso de

*incineración, podría ser prácticamente nula, si se captura para generar un producto químico, por ejemplo, carbonatos.*

*La incineración de los RSU para recuperación de energía, es utilizada en los países desarrollados, por ejemplo Suiza destina el 68 %, Alemania el 60 % y Francia el 38 %, de sus RSU, a la combustión con recuperación energética.*

*La asociación empresarial Plastics Europe indica, en su informe del año 2017, que el 41,6% de los residuos plásticos generados en Europa, fueron incinerados con recuperación energética y que en el período 2006 a 2016, la recuperación energética se incrementó en un 61%. Esto último sumado a los procesos de reciclado permitió reducir en el 43% los residuos plásticos, depositados en rellenos sanitarios. ([Plastics the Facts 2017- Plastics Europe](#)).*

**(\*\*):** *La disposición final de los residuos plásticos en los rellenos sanitarios, no producen, por su estabilidad, un impacto ambiental directo, **pero el impacto indirecto es muy importante, por las siguientes razones:***

- *la importante cantidad de residuos plásticos, que resultan difíciles de separar para reciclado, por ejemplo los utilizados para proteger y conservar alimentos (film plástico, muy fino y ligero, flexible, transparente y adherente), las bolsas plásticas utilizadas para recolectar los residuos, a los que se deben agregar los objetos plásticos reciclables, que no son separados y seleccionados en los hogares, por falta de responsabilidad o por comodidad, por resultar más sencillo eliminarlos como RSU.*
- *Los residuos plásticos ocupan un lugar importante en los rellenos sanitarios, restando espacio para los residuos biodegradables, por tal motivo es necesario disponer de nuevos espacios para la instalación de rellenos, resultando complicado, por la oposición de la población. adyacente a la ubicación seleccionada.*
- *No se realiza la recuperación energética de los RSU en general y de los materiales plásticos que contienen, por lo tanto no se aprovecha la reducción de los combustibles convencionales, que podría lograrse, por ejemplo por la generación de energía en las centrales termoeléctricas. Por otra parte tampoco se logra una reducción de la emisión de GEI, porque en los rellenos sanitarios se emiten gases, principalmente metano, por la degradación anaeróbica de la materia orgánica, además de otros gases (óxido nitroso, monóxido y dióxido de carbono, etc.)*

#### **f) Balance energético del Ciclo de Vida específico de cada material plástico**

El balance energético se calcula, en función de las energías utilizadas y recuperadas en los diferentes procesos, indicados en los ítems a, b, c, d y e, precedentes. **El cálculo puede realizarse, por tonelada de cada material plástico específico, considerando: producción, utilización, y reutilización, reciclado y recuperación energética, según corresponda.**

### g) Balance energético final, del Ciclo de Vida de los materiales plásticos

Como puede observarse en el ítem 1.1. del Capítulo 1, indicado precedentemente, existe una importante cantidad de materiales plásticos y cada uno de ellos tiene un Ciclo de Vida específico, por tal motivo la determinación del balance energético integral de los materiales plásticos, será una aproximación, la que sólo podrá realizarse considerando la cantidad producida/importada, de cada material plástico, la utilización anual en el país, la reutilización del producto, el reciclo realizado y la energía generada por recuperación energética (incineración).

## 2.5 Emisiones de gases efecto invernadero (GEI)

Los denominados GEI absorben y emiten radiación, en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja, por tal motivo impiden el enfriamiento de la tierra, incrementando la temperatura de esta última y originando importantes modificaciones en los patrones climáticos.

El Potencial de Calentamiento Global (PCG) de un gas, es su capacidad relativa de atrapar calor dentro de la atmósfera. La medición se realiza en comparación con una masa igual de dióxido de carbono.

Los principales GEI en la atmósfera terrestre son el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y el ozono (O<sub>3</sub>). Sin los GEI, en la atmósfera, la temperatura promedio de la tierra sería de -18°C en lugar de la temperatura media actual de 15°C. Desde el inicio de la revolución industrial (aproximadamente en 1760), la actividad humana (antropogénica), produjo un incremento de prácticamente 50 % en la concentración atmosférica de GEI, desde 280 ppm a 420 ppm en 2022, situación que representa un serio problema ambiental, por las consecuencias que se producen en el ecosistema del planeta, por el desequilibrio térmico originado.

Las emisiones de GEI producidas por la actividad antropogénica provienen de la combustión de combustibles fósiles (principalmente carbón, petróleo y gas natural), la deforestación, la erosión del suelo y la crianza de animales.

La IPCC<sup>1</sup> estima, que para el año 2038, si continúa el ritmo de crecimiento de la concentración de GEI, la atmósfera de la tierra podría superar un incremento de la temperatura global de 1,5°C, poniendo en riesgo los ecosistemas y la subsistencia de la humanidad.

La concentración de GEI, presentes en la atmósfera, proviene principalmente de las actividades antrópicas y de los procesos naturales como erupciones volcánicas e incendios forestales.

***Los principales GEI contenidos en la atmósfera terrestre son:***

---

<sup>1</sup> IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

- **vapor de agua:** generado en su mayor parte por evaporación natural en la que no interviene directamente la acción del hombre, pero si indirectamente, porque depende de la temperatura de los océanos y esta última está relacionada con el cambio climático, originado por las actividades antropogénicas.
- **dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).** Es el más importante de los GEI generado por las actividades humanas y el principal responsable del cambio climático, originado por el uso de combustibles fósiles en procesos industriales y medios de transporte.
- **metano (CH<sub>4</sub>).** Producido por las fermentaciones originadas por bacterias anaeróbicas en los humedales, en los rellenos sanitarios, en los cultivos de arroz, en el tracto intestinal del ganado y por la liberación del gas por actividades antrópicas, relacionadas con escapes/accidentes en la extracción de hidrocarburos, en procesos industriales y en sistemas de transportes del gas.
- **Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).** Principalmente generado por el uso masivo de fertilizantes nitrogenados en la agricultura intensiva, por las centrales termoeléctricas, los motores de combustión interna, la quema de biomasa y la fabricación de nailon y ácido nítrico.
- **Clorofluorocarbonos (CFC).** Compuestos químicos artificiales que se encuentran presentes en pequeñas concentraciones en la atmósfera. Provocan la destrucción de la capa de ozono y producen un efecto invernadero extremadamente potente (son denominados Gases de Alto Potencial de Calentamiento Global), pero la prohibición de fabricación y utilización en sistemas de refrigeración, componentes de aerosoles, producción de aluminio y aislantes eléctricos entre otros, está evitando una mayor aceleración en el cambio climático.
- **El ozono troposférico (O<sub>3</sub>).** También originado por la quema de fuentes de energía contaminantes.

***Lo indicado en el ítem 1.5.2., respecto a la incineración de los RSU y del plástico que contienen, es sin duda importante, pero para obtener una mayor eficiencia del proceso, es fundamental proceder a la captura del CO<sub>2</sub> de los gases de combustión emitidos.***

## 2.6 Huella de Carbono

En términos generales, la huella de carbono cuantifica la totalidad de gases de efecto invernadero (GEI), emitidos directamente o indirectamente, por un individuo, una organización, un evento o un producto, realizando la evaluación en forma integral, es decir considerando todas las etapas del proceso evaluado.

Por ejemplo, en el caso de un producto en general y de un material plástico en particular, ***la evaluación de la Huella de Carbono comprende, la totalidad de los***

***GEI emitidos, durante todo el ciclo de vida del producto, convirtiendo las cantidades de cada GEI y su PCG (Potencial de Calentamiento Global), en cantidades equivalentes de CO<sub>2</sub>, en las siguientes etapas:***

- obtención de materias primas e insumos (incluye transporte)
- proceso de fabricación
- transporte y distribución
- utilización del producto considerado
- disposición final (incluye transporte):
  - reutilización
  - reciclado
  - recuperación energética
  - depósito en relleno sanitario

***Una correcta disposición final, debe cumplir con el precedente orden de prioridad.***

*El PCG es una medida de la capacidad de cada GEI para la retención del calor en la atmósfera, porque tienen diferente capacidad de absorción de la radiación infrarroja y diferente vida media, de permanencia en la atmósfera. El gas utilizado como referencia para medir el PCG de los GEI es el CO<sub>2</sub>, por lo tanto su PCG es igual a 1. Cuanto más alto sea el PCG que produce un gas, mayor será su capacidad de retención del calor en la atmósfera.*

El PCG expresa el efecto sobre el calentamiento, causado por un kilogramo del GEI considerado, durante un período de tiempo (normalmente 100 años) en comparación con el efecto causado por un kilogramo de CO<sub>2</sub>, en el mismo período de tiempo.

La determinación de la Huella de Carbono, en toda la cadena de valor de un producto, ha tenido un importante impacto internacional, especialmente en Europa y Japón, poniéndose de manifiesto en el etiquetado ecológico de productos (ecoetiquetado), principalmente en los de exportación.

La metodología más utilizada internacionalmente, para la determinación de la Huella de Carbono de un producto, es la especificación PAS 150 de la British Standards Institution (BSI), que considera las directrices de la IPCC 2006 y 2007 y de las normas ISO 14021, 14044, 17050-1 y 14048, relacionadas con el ciclo de vida de los productos.

La Huella de Carbono determinada por el fabricante de un producto, de acuerdo a la especificación PAS 2050, debe ser verificada por una tercera parte independiente, para su validación.

La reducción de la Huella de Carbono de un producto plástico en particular, puede lograrse considerando los siguientes aspectos:

- reducción de las materias primas e incorporación de plásticos reciclables
- optimización del proceso de producción e incremento de la eficiencia energética

- producción de bioplásticos y de plásticos compostables
- producción de plásticos reciclables, especialmente en los utilizados en envases
- optimización del transporte y la distribución

El cálculo de la Huella de Carbono permite la cuantificación de las emisiones de GEI originadas, en todas las etapas del ciclo de vida de los productos en general y de los materiales plásticos en particular. **La identificación de las etapas del ciclo de vida, de cada material plástico analizado, en las que se producen las mayores emisiones de GEI y la posibilidad de reducirlas aplicando estrategias de ecodiseño, es parte fundamental de la economía circular.** En la actualidad China y Europa son los líderes mundiales, en la transición hacia la economía circular (Noticias ONU – 16/03/2021).

(\*\*\*) **Ecodiseño:** proceso que analiza, el desarrollo de un producto, evaluando los aspectos ambientales en forma integral, considerando su producción, calidad y seguridad, en todas las etapas del ciclo de vida.

- Los aspectos ambientales en el ciclo de vida de un material plástico, deben tenerse en cuenta en el diseño del producto, considerando la materia prima, el proceso de producción y la disposición final del producto desechado (residuo), luego de su utilización (ver ítem 1.5.2. “Recursos energéticos empleados” del presente informe).

*Una vez que el producto se encuentra en el mercado y se ha iniciado su comercialización, existe poco margen para reducir los potenciales impactos ambientales.*

## 2.7 Usos de los materiales plásticos, beneficios y riesgos asociados

### Principales usos de materiales plásticos sintéticos. Ventajas y Desventajas

El uso de materiales plásticos presenta importantes ventajas, pero es imprescindible considerar los riesgos que se generan, con la disposición final de los residuos originados.

Es fundamental incrementar el ciclo de vida de los materiales y productos plásticos, reutilizando y/o reciclando sus residuos, con el objetivo de minimizar, la generación de estos últimos, el consumo de energía, la huella de carbono y el impacto ambiental originado en la fabricación, y la potencial afectación de la salud, cumpliendo con los principios del desarrollo sostenible, para proteger la calidad de vida de la población actual, sin comprometer el de las futuras generaciones, es decir garantizando el equilibrio entre el crecimiento económico, la protección del medio ambiente y el bienestar social.

El modelo indicado precedentemente, contrasta con el modelo económico tradicional, basado en el concepto de “usar y tirar”, el que fue y es aún aplicado, en forma importante, en el uso de los materiales plásticos. Este último se incrementó

enormemente, en los últimos 30 años, originando un serio problema ambiental, que es necesario solucionar, a la mayor brevedad.

En la siguiente tabla se indican los principales usos, de los materiales plásticos, destacando la composición del polímero, con los que son fabricados los diferentes productos, y la factibilidad de reciclo, que presentan los residuos generados.

**Tabla 2.1. Factibilidad de reciclo de los residuos plásticos  
(Elaboración propia)**

Nº (◆)	TIPO	COMPOSICIÓN	PRINCIPAL USO	RECICLO
	<b>PET (PETE)</b>	Tereftalato de polietileno	Botellas de bebidas, envase comidas, Uso cosmético y farmacéutico, etc.	A
	<b>HDPE</b>	Polietileno de alta densidad	Envases opacos, botellas leche, detergentes, aceite motores, silos bolsa, etc.	A
	<b>PVC</b>	Policloruro de vinilo	Tarjetas, aislante de cables, pieles sintéticas, Construcción (tuberías, marcos de puertas y ventanas), etc.	D
	<b>LDPE</b>	Polietileno de baja densidad	Film adhesivo, bolsas, aislante cables, envases de suero, jeringas, silos bolsas y films de invernaderos, etc.	M
	<b>PP</b>	Polipropileno	Tapones de botellas, recipientes para alimentos, jeringas, fibras para tejidos, autopartes, etc.	M
	<b>PS EPS</b>	Poliestireno Poliestireno expandido	Cubiertos, vasos bebidas calientes, bandejas de comida, telgopor (reellenos para embalajes, aislante térmico), etc.	B
	<b>OTROS Mezclas de Plásticos</b>	Policarbonato, estireno, poliamida (nylon), etc.	Artículos: eléctricos, electrónicos, industriales, médicos, colchones, electro domésticos, etc.	BPR

A (Alta), M (Media), B (Baja), D (Difícil), **BPR** (Baja Probabilidad de Reciclo)

(◆): Triángulo de Möbius. Es el símbolo del código internacional de reciclaje de plásticos, el que debe colocarse en los productos fabricados con materiales plásticos.

Los códigos de identificación, clasifican los materiales plásticos en función de su composición y son muy útiles en la selección para el reciclado, porque no pueden mezclarse materiales con diferente composición.

**La clasificación, es utilizada para los plásticos de origen sintético, considerando el monómero del cual provienen, y no incluye los polímeros de monómeros naturales**, como por ejemplo los derivados de la celulosa (celuloide, celofán), del caucho (goma y ebonita), melazas, etc., o de origen bacteriano como los polihidroxicanoatos.

**Tabla 2.2 – Elaboración propia. Fuente: Datos de Plastics Europe 2022**

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE PLÁSTICOS AÑO 2021		
CARACTERÍSTICA	PRODUCCIÓN	%
PLÁSTICOS DE ORIGEN FÓSIL		
PET-PETE		6,2
HDPE		12,5
PVC		12,9
LDPE		14,4
PP		19,3
PS-EPS		5,2
OTROS		
Termoplásticos		7,1
Termoestables		7,1
PUR (poliuretano)		5,5
SUBTOTAL Plásticos Origen Fósil	352,4 x 10 <sup>6</sup> ton	90,2
PLÁSTICOS CIRCULARES		
Plásticos biológicos		1,5
Plásticos reciclados		8,3
SUBTOTAL Plásticos Circulares	38,3 x 10 <sup>6</sup> ton	9,8
TOTAL PRODUCCION MUNDIAL	390,7 x 10 <sup>6</sup> ton	100,0

Los materiales plásticos de los residuos sólidos urbanos (RSU) son, en su mayor proporción ( $\approx 60\%$ ) polietileno (PE) y polipropileno (PP) y en menor proporción, poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC), polietilen-tereftalato (PET), poliestireno-butadieno (PS-BD) y polimetacrilato de metilo) (PMMA), denominado comercialmente como acrílico o plexiglás.

***Se indican a continuación las principales ventajas y desventajas, originadas por la utilización de los materiales plásticos de origen fósil, actualmente en uso, a nivel nacional e internacional.***

### Ventajas

- Representa una importante protección, para la conservación de los alimentos, evitando su contaminación microbiana y la afectación por la humedad, permitiendo además la conservación de alimentos congelados.
- Los envases plásticos son prácticamente cuatro veces más ligeros que los fabricados con otros materiales, reduciendo considerablemente el costo de transporte, y en muchos casos, los riesgos de incidentes y accidentes, por ejemplo, con los que se presentaban con los envases de vidrio de aguas y gaseosas, que anteriormente los utilizaban.

- En general son fácilmente moldeables, resistentes a la corrosión y muy versátiles, utilizándose en campos muy diversos, como alimentación, industrias varias (aeronáutica, agropecuaria, construcción, electrodoméstica, etc.), etc.
- Prácticamente, son imprescindible en la medicina moderna (membranas para purificación de sangre en procesos de diálisis, apósitos para la curación de heridas, suturas quirúrgicas, implantes dentales y vasculares, catéteres, etc).
- Han reemplazado materiales de mayor costo, en la construcción y en la fabricación de electrodomésticos. Incluso los materiales plásticos no reciclables se utilizan, como áridos, en la preparación de algunos tipos de hormigones y ladrillos para construcción.
- Por las ventajas técnico-económicas, que representa la obtención de monómeros de origen fósil, con respecto a los monómeros de origen biológico, su utilización se ha extendido notablemente, incrementándose 70 % en los últimos 30 años.

***En la tabla precedente, se indica la producción anual internacional y los porcentajes correspondientes a los diferentes polímeros plásticos. Esta situación produce un serio impacto ambiental, el que ya se ha manifestado a escala mundial, por las razones expuestas a continuación.***

### **Desventajas**

- Como se observa en la información de la Tabla 1, el 90 % de los plásticos producidos a nivel mundial, son de origen fósil, representando los plásticos biológicos y reciclados aproximadamente el 10 %.
- Dependiendo de la composición del material plástico de origen fósil, el tiempo de degradación es extremadamente lento. La radiación ultravioleta, es prácticamente la única forma de degradación natural a mediano plazo (los materiales plásticos se tornan frágiles y quebradizos por destrucción de los enlaces de los polímeros). Si el material plástico permanece enterrado, el tiempo de degradación se incrementa notablemente, pudiendo duplicarse, o incrementarse aún más. El tiempo de degradación promedio de, botellas es 500 años, cubiertos 400 años, vasos 70 años, bolsas 50 años, etc.
- Considerando los problemas ambientales originados por los residuos plásticos, la Unión Europea emitió la Directiva UE 2019/904 (5 de junio 2019) relativa a la reducción del impacto ambiental de determinados productos de plástico, y prohibió la utilización, de la mayoría de los materiales plásticos de un solo uso, a partir del 3 de julio de 2021.
- *Los materiales plásticos reciclados, no pueden utilizarse en envases de alimentos, para consumo humano.*
- *Son inflamables y durante la combustión emiten gases tóxicos.*

- Se estima que desde los años 1950 a 2021 se han producido  $10.000 \times 10^6$  ton de materiales plásticos, de las cuales el 60 % se transformaron en residuos ( $\approx 6.000 \times 10^6$  ton) cuya disposición final se realizó, en Rellenos Sanitarios (vertederos de residuos sólidos urbanos - RSU) o se dispersaron en los ecosistemas terrestres y acuáticos, originando un impacto ambiental muy importante, sobre los elementos bióticos que conforman estos últimos.
- Información de las Naciones Unidas indican que prácticamente 8 millones de toneladas anuales de plástico, ingresan a los océanos y si se mantiene este ritmo, en el año 2050, la cantidad de plásticos, en estos últimos superará a la de los peces.
- El reciclaje de los materiales plásticos aún es muy limitado. En la UE se ha duplicado el reciclaje, desde el año 2006, pero la cantidad que se deposita, actualmente en los rellenos sanitarios es muy importante. La recuperación y el reciclaje de materiales plásticos a nivel internacional, es estimada en aproximadamente 15%.

#### **Reciclado de plásticos en Argentina:**

El reciclado creció en forma apreciable, incrementándose desde las 57.100 ton recicladas, en el año 2003, hasta las 228.000 ton, en el año 2017 (Fuente Picone y Seraffini 2019).

En el año 2021 se estaban reciclando 286.000 ton de plástico (Fuente: Índice Ecoplast y Cámara de Reciclado Plástico), representando menos del 10% del consumo anual de materiales plásticos.

Del porcentaje reciclado, aproximadamente el 4 %, corresponde al aprovechamiento energético en hornos de cemento.

#### **Plásticos de un solo uso**

Los plásticos de un solo uso son un claro ejemplo de la problemática cultural, del modelo económico tradicional de “usar y tirar”. Este concepto aplicado a los plásticos de un solo uso, produce un impacto ambiental enorme.

La Dirección Ejecutiva del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), destaca: “los envases plásticos representan casi la mitad de todos los residuos plásticos a nivel mundial, y muchos de ellos son desechados después de haber sido utilizado tan sólo unos pocos minutos”. Lo indicado corresponde a los materiales plásticos de un solo uso.

El PET (tereftalato de polietileno) es el material plástico más utilizado para los productos de un solo uso (botellas de agua y gaseosas) y es uno de los plásticos más fáciles de reciclar, para su utilización en la industria textil (telas de poliéster) y en otras aplicaciones industriales. Estos residuos eran importados por la industria China, hasta el año 2018, en que fue prohibida la importación de residuos, por el gobierno chino, especialmente la de plásticos, lo que produjo un importante impacto ambiental a nivel internacional, principalmente en la UE, EE.UU. y países occidentales desarrollados.

***Esta situación determinó la decisión de la Unión Europea de emitir la Directiva UE 2019/904 (5 de junio 2019) relativa a la reducción del impacto ambiental de determinados productos plásticos, y prohibió la utilización, de la mayoría de los plásticos de un solo uso, a partir del 3 de julio de 2021.***

Corresponde destacar que los artículos de plástico, de menores dimensiones y mayor uso, como pequeños envases, cubiertos, pajillas, hisopos, cotonetes, varillas soporte de globos, etc., son normalmente eliminados en los RSU, o arrojados directamente en las zonas urbanas. Estos artículos, son difíciles de reciclar, porque, por sus pequeñas dimensiones, no se adaptan a las características de las máquinas trituradoras, por tal motivo no son aceptados por los centros de reciclaje.

Los materiales plásticos, principalmente los de un solo uso, se acumulan en las calles de las ciudades y en los vertederos a cielo abierto, no autorizados, y son dispersados por el viento (principalmente las bolsas y botellas de plástico) y arrastrados por la lluvia, o por los desagües pluviales, hasta los cursos de agua superficial, desplazándose por los ríos y corrientes de agua, terminando su recorrido en los mares y océanos, generando el problema destacado por la ONU, mencionado anteriormente, respecto a que la cantidad de plásticos, que ingresan a los océanos, superará en el año 2050 a la de los peces, si se mantiene la situación actual. Además, a lo indicado deben agregarse, los materiales plásticos eliminados en las playas por los turistas o directamente en el mar u océano, por las actividades desarrolladas por los barcos pesqueros, incluida la pérdida de redes.

Los productos plásticos recolectados en costas de lagos, ríos, mares y océanos, son principalmente los de “un solo uso”, también denominados descartables. Los principales productos son: pequeños envases de comida, vasos para bebidas, cotonetes o hisopos, bolsas, cubiertos, platos, sorbetes, globos y barrita de sostén, paquetes y envoltorios, botellas y tapas de bebidas, filtros de cigarrillos, toallas higiénicas, pañales, etc.

### **Potenciales impactos negativos en los ecosistemas**

Los materiales plásticos descartados, que no son reutilizados o reciclados, contaminan los ecosistemas terrestres y acuáticos, a partir del año 1950, incrementándose en forma extremadamente importante, a través de los años y de los nuevos plásticos obtenidos, con materia prima de origen fósil.

Los materiales plásticos, por el efecto del sol y el calor, se transforman en frágiles y quebradizos, originando un importante impacto negativo, sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos.

En el ecosistema terrestre, las áreas con depósito de residuos plásticos y los contenidos en los RSU, dispuestos en rellenos sanitarios, presentan el potencial riesgo de liberar sustancias tóxicas, que contaminan el suelo y el agua subterránea, afectando la flora y la fauna, y a los seres humanos que dependen de esos recursos.

Cuando los residuos se encuentran en el ecosistema acuático, son ingeridos por la fauna acuática, pudiendo originar perforación en órganos, bloqueos intestinales y la muerte.

Los envases y los films plásticos, destinados a contener y proteger alimentos, constituyen uno de los problemas más acuciantes de esta crisis global, porque se usan una sola vez y por el potencial riesgo que presentan por los productos químicos que los integran y/o por los microplásticos, originados por su degradación, los que pueden migrar hacia los alimentos y bebidas, dando origen a la mayor fuente de exposición humana, ocasionada por los materiales plásticos.

Los materiales plásticos residuales, presentes en los ecosistemas, son los denominados macropásticos (dimensión > 5 mm) o microplásticos (< 5 mm). Estos últimos, al ser dispersados (por el viento o las aguas), afectan el crecimiento de las plantas<sup>2</sup>, e ingresan a la cadena alimentaria de la fauna (terrestre y acuática) y del ser humano.

Los recientes estudios realizados sobre la presencia de fibras artificiales en la atmósfera y en aire del interior de viviendas y oficinas, y en el polvo sedimentado retenido en las bolsas de las aspiradoras (Dris et al. 2017), determinaron los siguientes valores:

**Tabla 2.3. Elaboración propia - Fuente de datos: Dris et al. 2017**

**No son datos promedios, las mediciones son de una medición puntual.**

PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN EL AMBIENTE	
CONCEPTO	RESULTADO
Aire libre	0,3 y 1,5Wn fibras/m <sup>3</sup>
<b>Ambientes interiores</b>	
Aire	1,0 y 60,0 fibras/m <sup>3</sup>
Deposición	entre 1586 y 11.130 fibras/día/ m <sup>2</sup>
Polvo sedimentado	190-670 fibras/mg
<b>Tipo de fibras</b>	67% material natural, principalmente celulósico. 33% fibras petroquímicas, con predominio de polipropileno, fibras también observadas en los ambientes marinos estudiados.
<b>Potencial riesgo para los seres humanos</b>	<u>Inhalación</u> : Muy baja probabilidad. Depende del tamaño de las partículas. <u>Ingestión</u> : de polvo o presencia fibras en alimentos.

<sup>2</sup> “Las plantas pueden ser afectadas seriamente, por la presencia de microplásticos en el suelo, principalmente por los cambios de estructura, que afectan el crecimiento, por modificar la movilización de nutrientes y las actividades microbianas. Recientes estudios, determinaron que existe la probabilidad de migración de microplásticos, a través de las raíces de las plantas, produciendo contaminación tóxica en estas últimas.

La toxicidad potencial de los microplásticos, se debe a la capacidad que tienen de inducir bloqueo o abrasión de tejidos, generando estrés oxidativo y una respuesta inflamatoria que conduce a una citotoxicidad en humanos (Hu y Palic, 2020).

***Los potenciales riesgos para la salud humana, que se presenta por los microplásticos, son desarrollados en el Capítulo 5.***

### **Situación Internacional**

La ONU realiza advertencias y la necesidad de adoptar, una acción de nivel mundial con carácter de urgencia, para hacer frente a los problemas de contaminación causados por los materiales plásticos.

La ONU publicó, previo a la realización de la 26ª Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP26), celebrada en noviembre del 2021, el análisis del ciclo de vida de los plásticos, estimando que en el año 2015 los plásticos estuvieron relacionados con la producción de 1,7 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (GtCO<sub>2</sub>e), proyectando que para el año 2050 esa cifra podría aumentar a aproximadamente 6,5 GtCO<sub>2</sub>e (≈15% del presupuesto mundial de carbono).

***El estudio destaca que la contaminación por plásticos en los ecosistemas acuáticos ha crecido considerablemente en los últimos años y que se prevé que se duplique para el año 2030, con consecuencias nefastas para la biodiversidad, la salud, el clima y la economía.***

La Resolución 5/14 de UNEA-5 (UNEA- Sesión de la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) de marzo de 2022, titulada:

***“Fin de la Contaminación por Plásticos: hacia un Instrumento Internacional Jurídicamente Vinculante”***. Comprende el ecosistema terrestre y marino, con el objetivo de lograr el control de la contaminación por plásticos, mediante un instrumento internacional, jurídicamente vinculante, considerando el ciclo de vida completo de los plásticos, planteando como objetivo concluir las negociaciones para finales del año 2024, advirtiendo sobre falsas soluciones y destacando la necesidad de una acción mundial urgente.

***La contaminación por plásticos es una amenaza creciente para todos los ecosistemas, desde donde se originan los residuos plásticos, hasta el mar.***

***Es evidente que se dispone de los conocimientos y los recursos, para cumplir con el objetivo, de controlar la contaminación por plásticos, pero es imprescindible la voluntad política y la acción de los gobiernos.***

***El reciclaje no es la única salida a la crisis originada por los plásticos, debe considerarse, además, la gestión de los productos plásticos en general y de los de un solo uso en particular y la composición de los plásticos de origen fósil y de los biodegradables.***

***La principal preocupación es el destino de los microplásticos, los aditivos químicos y los productos fragmentados, muchos de ellos tóxicos para la salud humana, la vida silvestre y los ecosistemas.***

El 85 % de los residuos que llegan a los mares y océanos, corresponde a materiales plásticos y se estima que para el año 2040 se triplicarán anualmente en 23/37 millones de toneladas, si no se adoptan acciones mundiales urgentes.

En consecuencia, las especies marinas, desde el plancton, peces, moluscos, tortugas, mamíferos y aves, están expuestas a riesgos de intoxicación, trastornos del comportamiento, inanición y asfixia. Los corales y los pastos marinos son afectados por la acumulación de desechos plásticos, que les impiden recibir oxígeno y luz.

***El cuerpo humano también es vulnerable a la contaminación por microplásticos, los que son incorporados al organismo (tema desarrollado en detalle, en el Capítulo 5, por ingestión de los productos del mar e incluso de los ríos, de las bebidas en botellas de plástico, por el contacto de los alimentos con los envases plásticos (principalmente Bisfenol A) y por inhalación cuando las fibras de microplástico están suspendidas en el aire, dependiendo del tamaño.***

A nivel internacional, se han detectado microplásticos en ballenas, peces en general (sardinas, atún, etc.), corales, pingüinos, etc. y en una investigación realizada por la Universidad de Newcastle de Australia, en febrero de 2019, en las fosas oceánicas, el lugar más profundo del mundo, se ha demostrado que se está transformando en receptor de disposición final de microplásticos, por detectarse ingesta de estos últimos, en los organismos que habitan en:

- fosa de Las Marianas (área más profunda de los océanos del mundo, 10.890 metros), ubicada cerca de los países del Sudeste Asiático, Oceanía y Polinesia
- fosa Izu-Bonin en Japón
- fosas [Nuevas Hébridas](#) y [Kermadec](#) en Perú-Chile

El estudio fue dirigido por el [Dr. Alan Jamieson](#) de la Universidad de Newcastle, con la participación del Dr. Will Reid y el Dr. Thom Linley.

El estudio se realizó sobre 90 animales que viven en las fosas oceánicas, utilizando módulos de aguas profundas, para sacar las muestras a la superficie.

***La ingestión de plástico estaba entre el 50 % en la Fosa de las Nuevas Hébridas y el 100% en la parte inferior de la Fosa de las Marianas.***

***El 72% de las especies examinadas contenían al menos una micropartícula, variando de 1 a 8 por los diferentes individuos.***

***La contaminación en las fosas profundas es permanente, no se puede remediar y no hay animales que entren y salgan de las fosas.***

***En los ríos se disminuye la contaminación por el flujo de agua y en un litoral por la dilución de las mareas, pero una vez que ingresa el contaminante a una fosa marina no tiene forma de dispersarse, por tal motivo la concentración aumenta.***

***Los estudios internacionales, determinan que las especies marinas afectadas, por los residuos plásticos, superan las 1200.***

En una publicación de las Naciones Unidas se indica el triple riesgo que representan los desechos plásticos para las aves porque se enredan en los aparejos de pesca y en los residuos plásticos, ingieren estos últimos al confundirlos con alimentos, llenando sus estómagos de plástico no digerible y también los utilizan para hacer los nidos, por confundirlos con hojas, ramas, etc., los que hieren y atrapan a sus polluelos.

Las redes de pesca desechadas, son las principales responsables del atrapamiento de las aves marinas, produciendo la muerte de estas últimas, incluso en zonas alejadas de las costas (Instituto Fitzpatrick de Ornitología Africana de la Universidad de Ciudad del Cabo).

De las 265 especies de aves de las que se tiene constancia han sufrido los efectos del plástico, al menos 147 fueron aves marinas, 69 especies de agua dulce, y 49 terrestres.

ONU Medio Ambiente destaca que los relevamientos realizados, demuestran que las aves marinas y de agua dulce están en riesgo de enredarse en los residuos plásticos.

**Las investigaciones demuestran, que aproximadamente el 40 % de las aves marinas, contienen plástico en sus estómagos.** Los patos marinos, buzos, pingüinos, albatros, petreles, pelícanos, gaviotas, golondrinas de mar están entre las especies con más riesgo.

La ingestión de los residuos plásticos puede matar a las aves, causarles lesiones graves, bloquear o dañar el tracto digestivo o dar al ave una falsa sensación de saciedad, lo que lleva a la desnutrición y la inanición.

**Otros estudios, han encontrado aditivos químicos del plástico, en los huevos de las aves en entornos remotos como el Ártico canadiense.**

**En la isla Lord Howe, a 600 kilómetros de la costa de Australia, se detectó fibrosis inducida por plásticos, en el ave Fardela Común. Por este motivo, científicos de Australia y del Reino Unido propusieron denominar “plasticosis”, a la enfermedad causada, exclusivamente por la ingesta de residuos plásticos. El nombre fue asignado por su similitud con las enfermedades fibróticas, causadas por materiales inorgánicos, como la silicosis y la asbestosis.**

### Situación Nacional

Se han realizado importantes estudios científicos en Argentina, que demuestran la presencia de residuos de materiales plásticos y de microplásticos en la fauna marina (vertebrados e invertebrados) y en las aves marinas, que habitan en el Mar Argentino y en las costas.

Los residuos plásticos de mayor dimensión afectan a la fauna marina, produciendo bloqueos gastrointestinales y estrangulamiento. Debido a la escasez de alimentos, cualquier cosa que ven moviéndose en el agua lo comen.

Los microplásticos se incorporan a la flora y fauna marina, que se encuentran en la columna de agua y en el fondo marino, a través de las cadenas tróficas o alimenticias,

desde el fitoplancton y zooplancton, consumido por los peces, los que serán incorporados a las aves marinas y al ser humano, que los utilizan como alimento.

Los estudios realizados han demostrado, que los componentes químicos de los microplásticos, se incorporan al torrente sanguíneo de los peces, a las 2 horas de consumidos, y luego de varios días, ingresan a los tejidos y consecuentemente al organismo humano, que consume al pez. Por lo tanto el ser humano ingiere microplásticos al comer mejillones, almejas, pulpos, peces, etc.

### Fauna Acuática

En Argentina se han realizado importantes estudios por el CONICET, instituciones científicas, universidades públicas y privadas, que forman parte de la Red Científica de Plásticos y Microplásticos en el Ambiente (SEPIA por "SciEnce for Plastic Impacts Argentina"), ONGs, incluidos los realizados por la Dra. Marcela UHART (Investigadora Argentina) de la Universidad de California y el Instituto de Conservación de Ballenas (desde el año desde 1970 estudian a la ballena franca austral en las aguas costeras de Península Valdés).

A continuación, se mencionan en forma general los resultados de algunos de los estudios realizados, donde se registraron especies marinas afectadas por los residuos plásticos, presentes en el agua.

- Ballena Franca Austral, se detectaron residuos plásticos en el aparato digestivo de una ballena varada.
- Merluza Común, es el principal recurso pesquero de Argentina y también se ha detectado presencia de microplásticos en su organismo.
- Presencia de residuos plásticos en diferentes especies marinas: ballenas juveniles, tortugas, lobos marinos, ostras, cangrejos, langostinos, estrellas de mar, corvina rubia, pejerrey.
- Delfín Franciscana (o delfín del Plata especie vulnerable que habita en Argentina, Brasil y Uruguay, principalmente en las costas de la provincia de Buenos Aires)

Docentes de la UNMDP, investigadores del CONICET, determinaron que el delfín la Franciscana, es un excelente indicador, para la evaluación del impacto negativo. originado por los residuos plásticos en el Estuario del Río de La Plata, por ser una especie fácilmente registrable y de poca movilidad, es decir muy representativa del área evaluada.

- Se identificaron residuos plásticos en invertebrados marinos del Canal de Beagle (la lapa y el mejillón) y en el Parque Nacional Tierra del Fuego (pez puyén del Arroyo Negro)
- Presencia de microplásticos en el tracto gastrointestinal de la corvina rubia, en el Estuario de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires, con dimensiones entre 1 y 5 mm.

- En Península Valdés (Patrimonio Mundial de la Humanidad), se detectan residuos plásticos dispersos, en áreas cercanas, a las zonas de descanso de lobos y leones marinos.

### Aves Marinas

Las especies más afectadas, son las que obtienen su alimento principalmente de la superficie del agua, donde los residuos plásticos flotan y se acumulan. A continuación se realiza un breve resumen de los resultados de las especies de aves marinas, contaminadas por residuos plásticos y por microplásticos.

- Albatros y Petreles, son los principales afectados, por los residuos plásticos de mayores dimensiones, por obtener los alimentos de la superficie del agua
- Pingüinos Magallánicos juveniles, que quedaron varados en la costa atlántica del sur de la provincia de Buenos Aires, se comprobó su contaminación por plásticos.
- Petrel Gigante del Sur. Es la especie de ave marina, del Mar Patagónico, con mayor registro de ingesta de residuos plásticos, principalmente los provenientes de los descartes de las actividades de pesca. El Petrel Gigante se está utilizando como especie modelo, para estudiar los efectos sub-letales de la ingesta de plásticos. En la Isla Gran Robredo-Chubut (islote marino deshabitado), se detectaron pichones de Petrel Gigante del Sur, en nidos de basura plástica.
- Macá Grande (el ave tiene una longitud de aproximadamente 60 cm y habita en costas, bahías, lagos y lagunas, de la Patagonia). Investigadores de la Universidad Nacional de Río Negro, encontraron en la playa de Lobería de la Reserva Natural Punta Bermeja – Río Negro (es la reserva más importante de lobos marinos del norte de la Patagonia), el cadáver de un ejemplar de Macá Grande, que había tragado una cinta elástica de aproximadamente 10 cm, poniendo en evidencia el potencial riesgo que representan, los residuos plásticos de mayor dimensión, tanto para la fauna acuática, como para las aves marinas.

## 2.8 Conclusiones

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) considera que es posible lograr, una reducción del 80 %, en el año 2040, de la contaminación actualmente generada, por los residuos plásticos, cumpliendo con tres principios: **reutilización, reciclaje y uso de materiales alternativos.**

La contaminación por residuos plásticos es un problema global, que alcanzó los lugares más remotos.

***El impacto ambiental que originan los residuos plásticos, es perfectamente conocido y se han evaluado los potenciales e importantes riesgos que representan, para los ecosistemas. A pesar de esto último, la cantidad de plásticos producidos y los residuos generados crecen año a año, resultando absolutamente insuficientes, los sistemas de reciclaje y de gestión.***

***En el año 2021, la producción mundial de materiales plásticos, principalmente de origen fósil (90,2 %), fue de 391 millones de toneladas, de las cuales 139 millones son de plásticos de un solo uso, es decir desechables.***

***La ONU busca establecer un tratado internacional, jurídicamente vinculante sobre la contaminación por plásticos, en particular en el ambiente marino.***

***La evidencia científica y la experiencia de los últimos años, demuestra que el problema no se resuelve con la promoción. La solución requiere una urgente intervención internacional global y de los niveles gubernamentales, industriales y ciudadanos de cada país, para cumplir con los tres principios de la UNEP, reutilización, reciclaje y uso de materiales alternativos.***

## **2.9 Referencias bibliográficas**

Naciones Unidas Objetivo 12: “Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles: un requisito esencial para el desarrollo sostenible”

Arab Hoballah (PNUMA) y Sandra Averous (PNUMA)

Sub-serie de Normas IRAM-14040 “Análisis del Ciclo de Vida” (ACV)

Normas ISO relacionadas con ACV: 14040, 14041, 14042, 14043, 14048, 14049

UNE 150-040-96: Norma Española “Análisis del Ciclo de Vida”

Consejo Nórdico de Ministros: “Análisis del Ciclo de Vida”

Residuos Plásticos en Argentina. Su Impacto Ambiental, en el Desafío de la Economía Circular. Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Diciembre 2020

La Huella de Carbono en los Productos Plásticos – Economía Circular en los Productos Plásticos. AIMPLAS Instituto Tecnológico del Plástico- Valencia – España.

Metodología de Cálculo de la Huella de Carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina. Naciones Unidas – CEPAL

Contaminación de los mares y ríos, afectación de peces y aves marinas, corresponde a información general, de investigaciones, estudios y relevamientos, realizados por organismos e instituciones nacionales e internacionales, entre otras.

ONU Medio Ambiente. Informes varios

CONICET: INALI (Instituto Nacional de Limnología), IBIOMAR (Instituto de Biología de Organismos Marinos), IADO (Instituto Argentino de Oceanografía)

UNLP (Universidad Nacional de La Plata)

UNMDP (Universidad Nacional de Mar del Plata)

UNRN (Universidad Nacional de Río Negro)

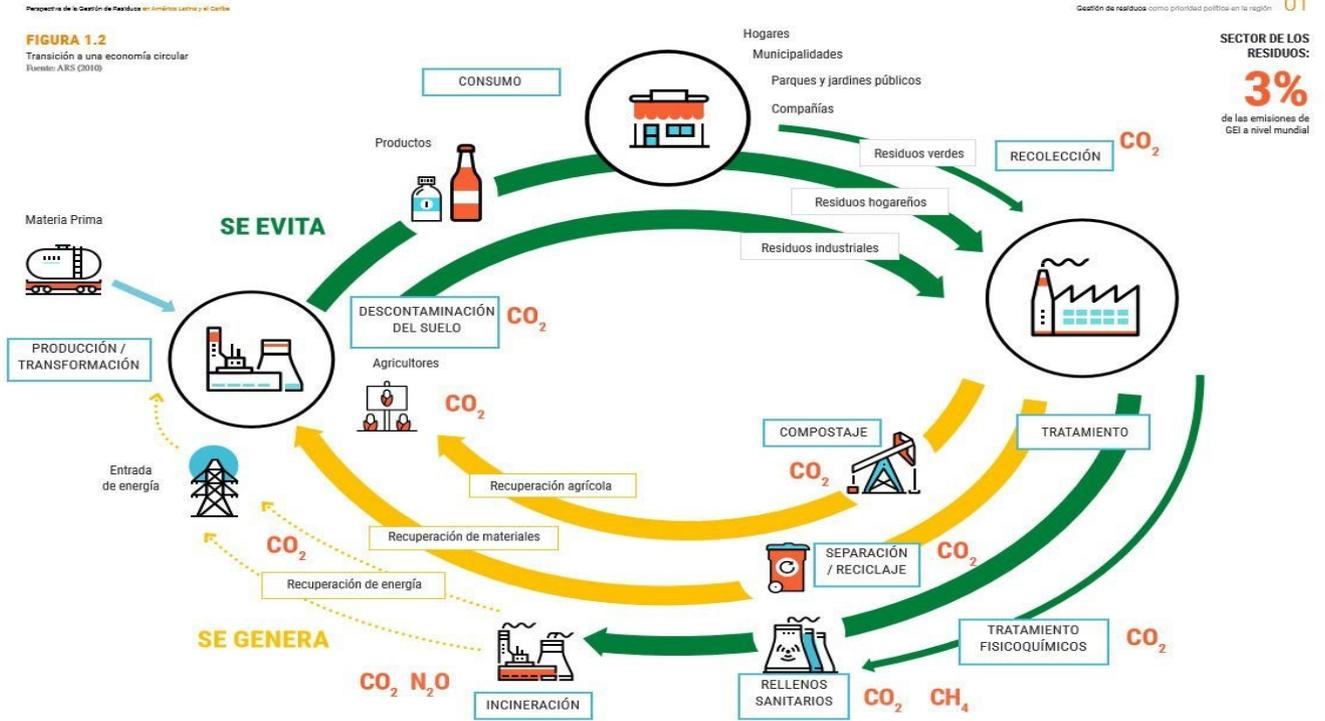
SENASA-IBIOMAR

**MARINE POLLUTION BULLETIN** - Revista

UNIVERSIDAD DE CALIFORNIA-DAVIS - Marcela UHART (Investigadora Argentina)

## 2.10 Anexo

### Esquema de Transición a la Económica Circular ONU Medio Ambiente” Publicado “Artículo ONU para el Desarrollo Industrial” “Fundación Ellen MacArthur” Manuel Albaladejo, Paula Mirazo, Laura Franco Henao



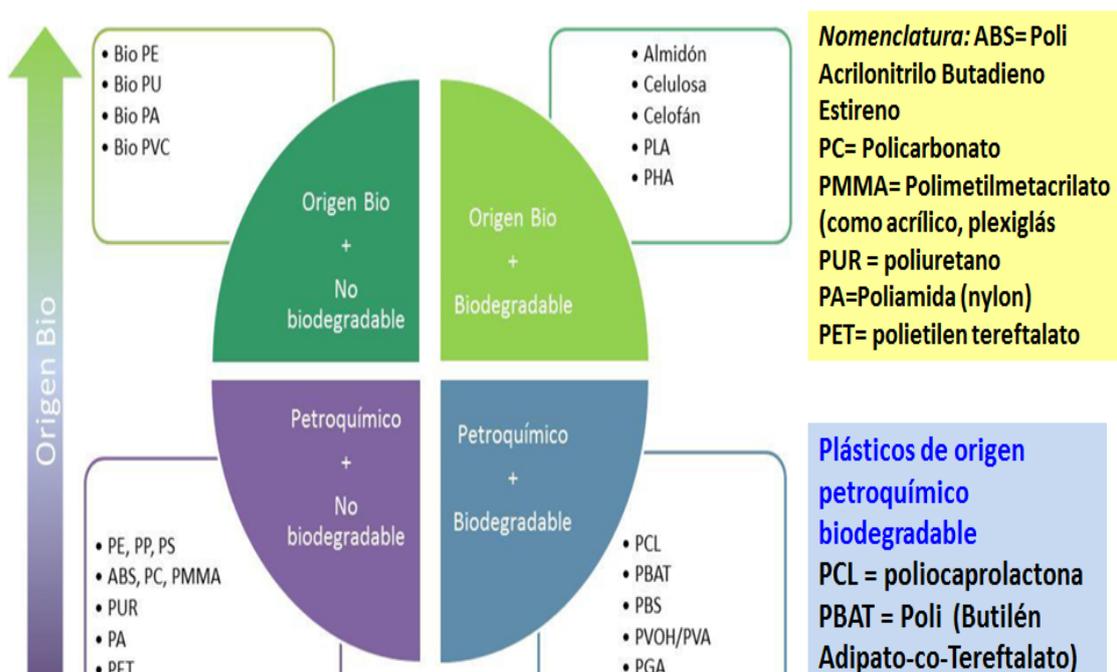
# Bioplásticos y polímeros biodegradables

Dra. Ing. Noemí E. Zaritzky

## 3.1 Clasificación de los plásticos según su origen y biodegradabilidad

Los plásticos tradicionales provienen del petróleo (recurso natural fósil no renovable). Sin embargo hay materiales alternativos que: i) puedan ser sintetizados a partir de fuentes renovables y se denominan bioplásticos, ii) puedan ser degradados fácilmente en el medio ambiente (biodegradables), iii) en algunos casos cumplir estas dos condiciones.

La figura 3.1 indica la clasificación de los plásticos según su origen y su biodegradabilidad.



**Fig. 3.1 Clasificación de los plásticos según su origen y biodegradabilidad**

Los plásticos pueden ser entonces de origen petroquímico y no ser biodegradables (corresponden al cuadrante inferior izquierdo) y son los que se han descrito en los

capítulos anteriores. Otros, pueden ser de origen biológico y no ser biodegradables (corresponden al cuadrante superior izquierdo). Algunos pueden ser de origen petroquímico y ser biodegradables (cuadrante inferior derecho) y otros pueden ser de origen biológico y además ser biodegradables (cuadrante superior derecho)

### 3.2 ¿Qué es un polímero biodegradable?

Los plásticos biodegradables son polímeros que pueden desarrollar una descomposición aeróbica o anaeróbica por acción de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas bajo condiciones que naturalmente ocurren en el medio ambiente. Son degradados por acción enzimática de los microorganismos en condiciones normales del medio ambiente

Los polímeros biodegradables tienen la particularidad que después de su uso se descomponen generando subproductos naturales como gases (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>), agua, biomasa, y sales inorgánicas.

Estos polímeros biodegradables se encuentran en forma natural y también se pueden producir sintéticamente, y en gran parte incluyen grupos funcionales como éster, amida y éter.

Los polímeros biodegradables deben ser estables y suficientemente duraderos para ser usados en su aplicación particular, pero al ser eliminados deben romperse o degradarse con facilidad. Los polímeros biodegradables, tienen estructuras de carbono extremadamente fuertes, que son difíciles de romper; la degradación a menudo comienza a partir de los grupos terminales o los extremos de la molécula polimérica. Se debe tener un área de superficie elevada que permita un fácil acceso para el químico, la luz o el organismo.

Los polímeros biodegradables también tienden a tener una baja ramificación de cadena debido a que esta reticulación con frecuencia disminuye el número de grupos terminales por unidad de peso. La cristalinidad es a menudo baja, ya que también inhibe el acceso a los grupos terminales. Normalmente se observa un grado de polimerización bajo, porque de este modo se permite mayor acceso a los grupos terminales para iniciar la reacción de degradación. Otra característica común de estos polímeros biodegradables es su hidrofilia.

Se debe tener en cuenta que los polímeros hidrofóbicos dificultan que una enzima soluble en agua se pueda poner en contacto fácilmente con el polímero.

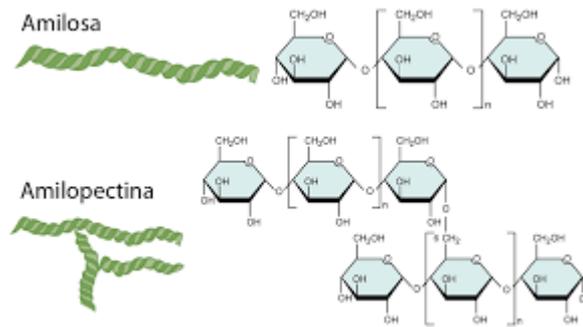
En general, los polímeros biodegradables se pueden clasificar en dos grandes grupos basados en su estructura y en su síntesis. Uno de estos grupos es el de los *agropolímeros*, o los derivados de biomasa y el otro consiste en *biopolíesteres*, que son derivados de microorganismos o sintéticamente producidos a partir de monómeros naturales o sintéticos.

### 3.3 ¿Qué es un biopolímero?

Los biopolímeros o polímeros de origen bio se definen como las macromoléculas producidas de forma natural por organismos vivos de cualquier tipo. Los bio-polímeros

procedentes de biomasa (recurso renovable) incluyen polisacáridos, como los almidones que se obtienen por ejemplo del maíz, la celulosa, la quitina y su derivado el quitosano; proteínas, como el suero de leche, el gluten derivado de los vegetales, la queratina (derivada de plumas, lana, etc).

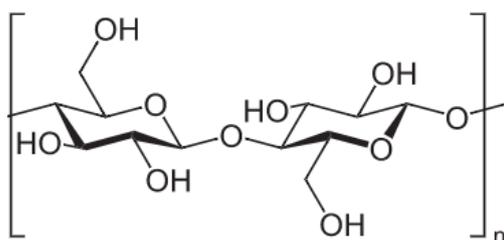
En la Fig. 3.2 se muestra la estructura de la amilosa (lineal) y de la amilopectina (ramificada) que constituyen la molécula almidón



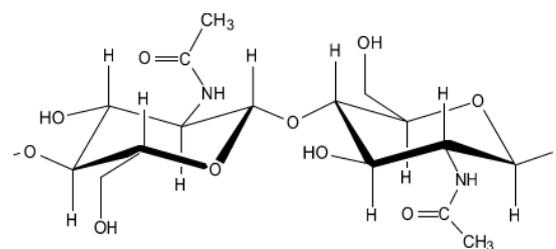
**Fig. 3.2 Estructura del Almidón: amilosa y amilopectina**

La celulosa es un polisacárido estructural en las plantas, ya que forma parte de los tejidos de sostén. La pared de una célula vegetal joven contiene aproximadamente un 40 % de celulosa; la madera un 50 %, mientras que el algodón, tiene un porcentaje mayor al 90 %. Es un biopolímero compuesto exclusivamente de moléculas de  $\beta$ -glucosa, (homopolisacárido). La celulosa es la biomolécula orgánica más abundante ya que forma la mayor parte de la biomasa terrestre. La celulosa se utiliza principalmente para producir cartón y papel. De la celulosa se pueden obtener fibras textiles (rayón) y los derivados acetato y nitrato de celulosa.

La quitina es un polisacárido compuesto de unidades de N-acetilglucosamina que están unidas entre sí con enlaces  $\beta$ -1,4, de la misma forma que las unidades de glucosa componen la celulosa. La quitina tiene una estructura similar a la celulosa con el grupo hidroxilo de cada monómero reemplazado por un grupo de acetilamina. Esto permite un incremento de los enlaces de hidrógeno con los polímeros adyacentes, dándole al material una mayor resistencia. Es el segundo polímero natural más abundante después de la celulosa. Forma parte de las paredes celulares de los hongos, del exoesqueleto de los artrópodos, crustáceos. La principal fuente de obtención de la quitina son los desechos de los crustáceos. De la quitina por un proceso de desacetilación se obtiene quitosano que es un polielectrolito catiónico con presencia de grupos amino.



**Celulosa**



**Quitina**

Dentro de los biopolímeros se incluyen también aquellos que aunque son producidos mediante procesos de síntesis química, están formados por materiales renovables de origen biológico, como es el caso del ácido poliláctico (PLA), que se obtiene por polimerización del ácido láctico.

También se incluyen los polihidroxicanoatos (PHA) que son producidos intracelularmente por microorganismos en condiciones controladas.

Los plásticos biodegradables/compostables no son mecánicamente reciclables y son apenas reutilizables por su fragilidad. Además, deben tener especificado el tiempo y en qué condiciones desaparecen. El concepto de plásticos y polímeros sintéticos biodegradables fue introducido por primera vez en la década de 1980. A partir del 2013, un 5-10% del mercado de plásticos se enfocó en los plásticos derivados de polímeros biodegradables.

En la Fig.3.3 se muestran algunos de los plásticos biodegradables.

Los bioplásticos se fabrican a partir de materias primas de primera generación, como el maíz, la caña de azúcar, el trigo y la soja, por ser plantas ricas en carbohidratos. También se pueden producir bioplásticos a partir de materias primas de segunda generación, como residuos lignocelulósicos provenientes de cultivos alimentarios o de procesos industriales (bagazo de caña de azúcar y de maíz, paja de trigo y de maíz, aserrines de pino y eucalipto) y de tercera generación a partir de otros residuos industriales no celulósicos como el lactosuero y las algas.

Otro de los bioplásticos muy utilizados en envasado es el almidón termoplástico (TPS) proveniente del almidón y 100% biodegradable que combinado con ciertos polímeros, permite obtener un almidón termoplástico factible de ser utilizado en la producción de películas, bolsas etc.

### 3.4 Utilización de los plásticos biodegradables

**Envoltorios** que se descomponen antes que los convencionales. El plástico biodegradable es un tipo de plástico que con el paso del tiempo en la naturaleza es consumido por los microorganismos, que lo utilizan como fuente de carbono, agua y biomasa, reintegrándose en la naturaleza sin dejar residuos de ningún tipo. Además, los plásticos biodegradables, se desintegran de forma mucho más rápida que los plásticos tradicionales. Los biodegradables requieren tiempos mucho menores de degradación (según las condiciones de temperatura y humedad) que los plásticos convencionales, los cuales necesitan en muchos casos más de 100 años.

**Agricultura:** el plástico biodegradable puede mezclarse en la tierra con capas de mantillo y semilla

**Medicina:** el plástico biodegradable puede ser útil para la fabricación de suturas absorbibles, micro-dispositivos o cápsulas que se degraden en el interior del cuerpo.

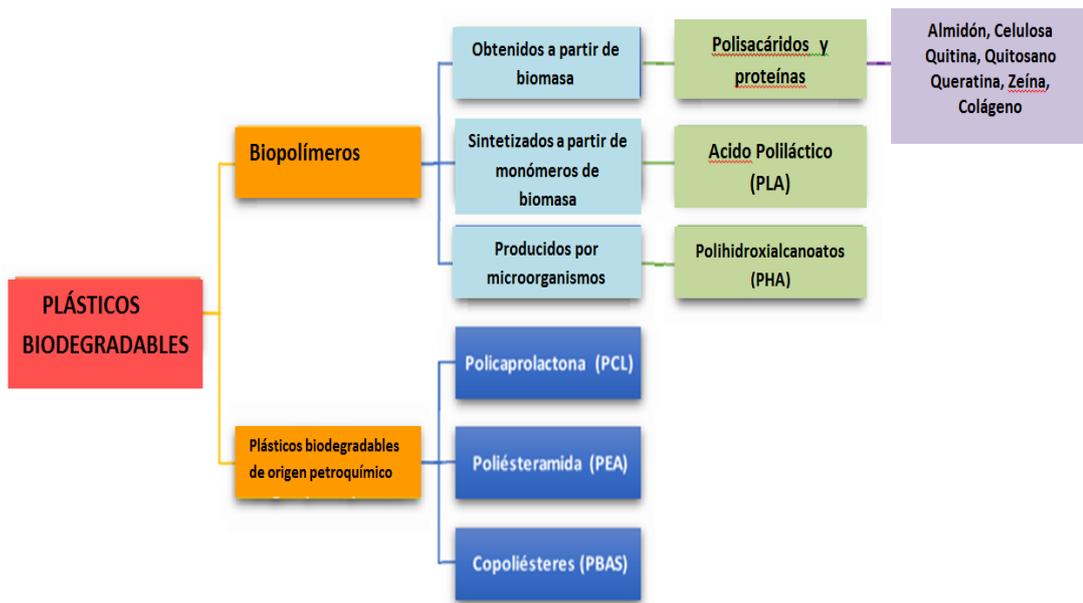


Fig. 3.3 Plásticos biodegradables

### 3.5 Características de los bioplásticos

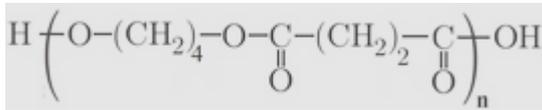
Los **bioplásticos** presentan una serie de características identificativas: Pueden ser producidos por seres vivos (esencialmente microorganismos), o bien a partir de materias primas renovables como el almidón, etc.

Un bioplástico debe reunir algunas de las propiedades fisicoquímicas de los plásticos tradicionales derivados de la industria petroquímica, en cuanto a transparencia, flexibilidad, permeabilidad, elasticidad, resistencia eléctrica y química, solubilidad, inflamabilidad, estabilidad térmica o temperatura de combustión.

La mayoría de los plásticos biodegradables pertenecen al grupo de los poliésteres, excepto los derivados del almidón. Esto es debido a la especial susceptibilidad del enlace éster de ser hidrolizado por enzimas microbianas. Dentro del grupo de los poliésteres biodegradables encontramos poliésteres alifáticos y aromáticos. Entre los alifáticos está la PCL (policaprolactona), derivado del petróleo pero biodegradable y el PBS (polibutilen succinato).

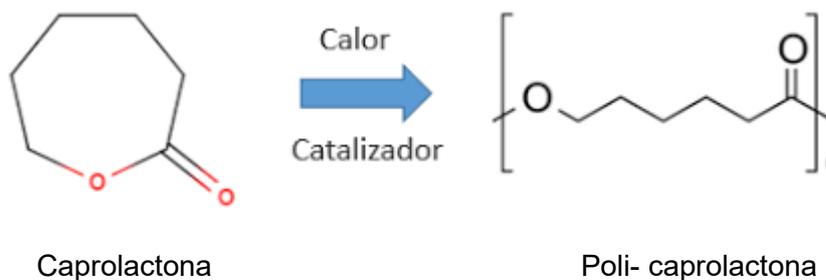
**PBS**, es un poliéster alifático con una estructura química única que lo diferencia de los plásticos tradicionales. Se fabrica mediante la polimerización de ácido succínico y 1,4-butanodiol. Una característica interesante del PBS es que puede obtenerse a partir de materias primas de origen petroquímico o también producirse, obteniendo ambos componentes básicos a partir de glucosa y sacarosa por fermentación. Su composición química contribuye a la resistencia mecánica y biodegradabilidad. Se considera, entre todos los polímeros compostables y biodegradables del mercado, el mejor sustituto de los plásticos tradicionales como ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), PP y PE, PET. Su estructura semi-cristalina le confiere excelentes propiedades físico-mecánicas, muy similares a las de PP y ABS. Una de las características más destacadas de PBS es su versatilidad. Puede procesarse

mediante métodos convencionales de fabricación de plástico, incluidos el moldeo por inyección, la extrusión y el moldeo por soplado. El material también exhibe un excelente equilibrio entre resistencia a la tracción, estabilidad térmica y resistencia al impacto



**Succinato de polibutileno( PBS)**

La **policaprolactona (PCL)** es un poliéster alifático biodegradable elaborado a partir de derivados del petróleo. Se compone de una secuencia de unidades de metileno, entre los que se forman grupos éster con un bajo punto de fusión de alrededor de 60 °C y una temperatura de transición vítrea de alrededor de -60 °C. Es obtenido a partir de la polimerización de la caprolactona que se obtiene de la industria del petróleo (Fig. 3.4). El PCL se suele usar como aditivo para otros polímeros; al tener un bajo punto de fusión, es utilizado como un plástico capaz de ser moldeado a mano, que se usa en la fabricación de prototipos, reparación de piezas plásticas y confección de artesanías. También ha recibido una gran atención para su uso como un biomaterial para implantes en el cuerpo humano. El PCL puede obtenerse mediante la polimerización de anillo abierto de  $\epsilon$ -caprolactona, usando un catalizador como el octanato de estaño. El polímero es usado frecuentemente como aditivo de resinas para mejorar sus propiedades, por ejemplo, resistencia al impacto. Su compatibilidad con muchos otros materiales permite utilizarlo en mezclas con almidón para disminuir costes y mejorar la biodegradación, o como aditivo del PVC



**Fig.3.4 Polimerización de  $\epsilon$ -caprolactona a policaprolactona.**

Los poliésteres aromáticos, como el polietilén tereftalato (PET), o el polibutilén tereftalato (PBT), de origen sintético y procedentes de fuentes no renovables, poseen unas cualidades excelentes para su uso industrial en envasado, mostrando una gran resistencia a diversos factores fisicoquímicos. No obstante, su contenido de componentes aromáticos dificulta su biodegradación, ralentizándola de forma considerable.

Muchos de estos poliésteres se pueden mezclar en distintas proporciones con otra clase de polímeros, o bien con otros poliésteres, con el fin de reducir el costo del producto final, producir plásticos con propiedades modificadas o incrementar su biodegradabilidad. Una de las mezclas más frecuentes y eficaces se realiza con distintas formas de almidón, como el almidón gelatinizado, en gránulos o

termoplástico, dado que es un polímero barato, renovable y disponible durante todo el año. La mezcla de poliésteres con polímeros derivados del almidón es muy útil cuando se fabrican plásticos de baja vida útil con un costo reducido, incrementando su biodegradabilidad. No obstante, el carácter hidrófilo del almidón puede afectar negativamente a su resistencia a la humedad.

También es habitual en la industria de los plásticos controlar la composición monomérica de estos poliésteres, buscando determinadas características en el producto final. De esta forma, en la composición del PET se pueden incorporar otros monómeros mediante enlaces éter o amida para facilitar su degradación.

También en muchos casos se pueden combinar monómeros alifáticos y aromáticos para lograr aunar las ventajas de cada tipo de poliéster, y así obtener plásticos que exhiban interesantes propiedades mecánicas y una buena biodegradabilidad.

Hay ejemplos de estos poliésteres combinados alifático-aromáticos como el poli(butilén succinato)-co-(butilén tereftalato) (PBST) o el polibutilén adipato-co-tereftalato (PBAT), comercializado por la compañía alemana BASF bajo la marca Ecoflex™ (García Hidalgo, 2014)

Hay bioplásticos derivados de sustancias renovables, que sin embargo no son biodegradables, como el *nylon*, sintetizado a partir de aceite de ricino, o el *polietileno* (PE), que si bien normalmente se produce a partir de hidrocarburos no renovables, puede ser generado también a partir de etanol (o bioetanol)

Otros biopolímeros pueden ser biodegradables o no serlo, como la *acetil celulosa*, que solamente es biodegradable si presenta un bajo nivel de acetilación, y pierde esta cualidad si dicho nivel es elevado.

Como ya se mencionó hay bioplásticos que además de provenir de fuentes renovables son biodegradables, como el *almidón*, el *ácido poliláctico* (PLA) y los *polihidroxialcanoatos* (PHAs).

El ácido poliláctico (PLA) se produce a partir del ácido láctico, el cual se puede obtener por fermentación bacteriana, pero su polimerización es un proceso químico. El almidón es un polisacárido, y los PHAs son los únicos poliésteres renovables totalmente producidos por microorganismos y perfectamente biodegradables. Más adelante en este capítulo se describe el proceso de obtención de PLA y PHA.

### 3.6 Concepto de plásticos biobasados

Del análisis realizado previamente surge un concepto importante: los **plásticos biobasados o bioplásticos** que no son sinónimos de biodegradables, ya que son aquellos constituidos de compuestos orgánicos que se obtienen de recursos naturales renovables, como plantas y microorganismos.

El bio- Polietileno presenta exactamente la misma estructura y propiedades que el polietileno convencional, la única diferencia es el proceso mediante el cual se fabrica. Para generar el producto biobasado se parte de alguna fuente de biomasa con alto contenido de azúcar, como la caña de azúcar, que mediante un proceso de

fermentación permite obtener etanol, que puede transformarse en diferentes insumos para la industria química, entre los cuales se encuentre el polietileno.

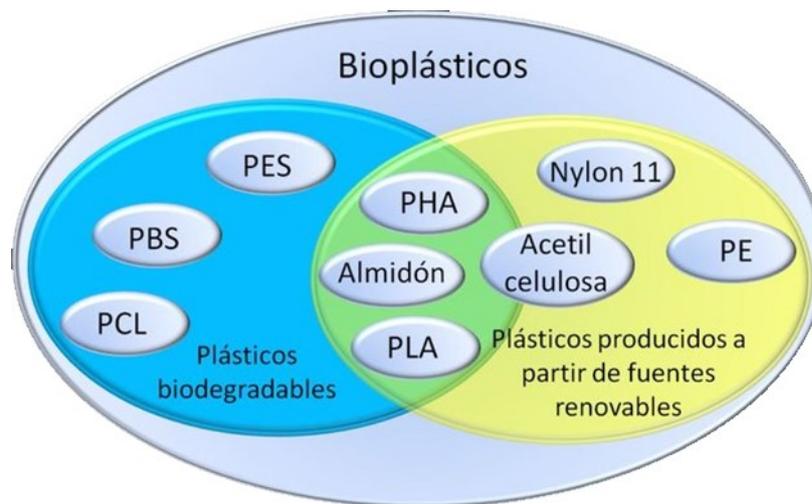
Los bioplásticos o los plásticos 100% reciclados proceden de fuentes renovables (ya sean plantas o residuos plásticos), empleando menos gases de efecto invernadero en su fabricación.

En la Fig. 3.5 se muestran algunos plásticos agrupados según su biodegradabilidad y procedencia de fuentes renovables o no renovables.

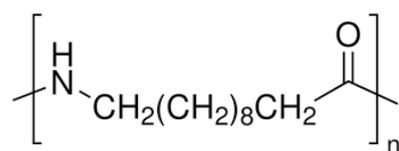
Las abreviaturas utilizadas en la Fig. 3.5 son: Polietilén succinato (PES), Polibutilén succinato (PBS), Policaprolactona (PCL), Polihidroxialcanoatos (PHA), Ácido Poliláctico (PLA), Polietileno (PE).

Se puede observar que el nylon 11 o poliamida 11 no es biodegradable. Sin embargo se produce a partir de fuentes renovables. Sirve para la creación de prototipos y las aplicaciones de uso final que requieren una ductilidad, resistencia a los impactos y la capacidad de resistir el desgaste sin que se produzca una rotura frágil.

La zona central marcada en verde en la figura, corresponde a plásticos que se producen a partir de fuentes renovables y además son biodegradables.



**Fig. 3.5 Plásticos agrupados según su biodegradabilidad y procedencia de fuentes renovables o no renovables. (Tokiwa y col. 2009 y García Hidalgo 2014.)**



**Nylon 11**

Los plásticos etiquetados como «oxodegradables», son plásticos convencionales a los que se añaden unos aditivos que actúan como catalizadores para microfragmentar con ayuda de la luz, calor o rayos ultravioleta. No son una solución al problema de la contaminación ocasionada por los plásticos, sino que más bien lo agravan.

### 3.7 Plásticos compostables

Los plásticos biodegradables que se biodegradan en condiciones de una planta de compost se denominan compostables. Los términos “biodegradable” y “compostables” no se pueden utilizar indistintamente. El primero describe un proceso, mientras que el otro describe dónde y cuándo ese proceso se producirá.

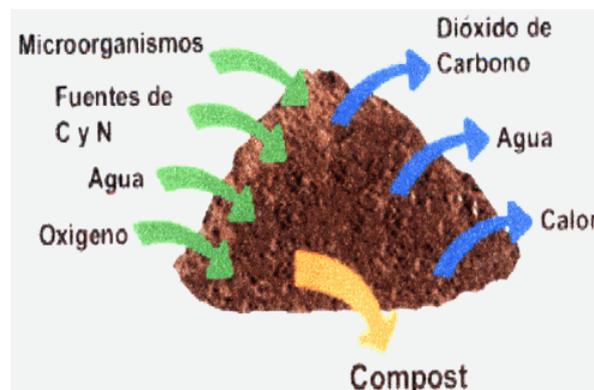
Todos los plásticos compostables son biodegradables, pero no todos los plásticos biodegradables son compostables. Depende de las condiciones del compost, del tiempo y si se trata de plantas de compost industriales o domésticas.

La biodegradación es un proceso que puede tener lugar en diferentes ambientes como los suelos, las tierras de compostaje, plantas de tratamiento de aguas, ambientes marinos, etc. No todos los materiales son biodegradables bajo todas las condiciones.

Para que un material biodegradable sea considerado compostable, deberá biodegradarse en un período de tiempo establecido y el producto final (compost) debe cumplir con las exigencias necesarias para su uso en jardinería y agricultura. Al final de su vida útil, deben disponerse en centros de gestión con un adecuado control del proceso, como las plantas municipales de compostaje.

Una planta de compostaje es una instalación destinada al reciclaje de los residuos orgánicos mediante un tratamiento biológico de los mismos, produciendo compost o abono orgánico. Se basa en la actividad de microorganismos (hongos y bacterias) que descompone los residuos en condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxígeno. El compost es obtenido de manera natural mediante la descomposición aeróbica de varios residuos orgánicos: restos vegetales, excrementos de animales, restos de comida de los residuos urbanos, fracción orgánica de los residuos urbanos.

A partir del segundo o tercer día la temperatura asciende a 50-60°C. Durante los siguientes 15-20 días se mantiene entre 65 y 75°C. A partir de las dos o tres semanas, la temperatura disminuye, hasta alcanzar la temperatura ambiente



**Fig. 3.6 Esquema de un compost**

Los residuos orgánicos son las fuentes de Carbono y Nitrógeno, en condiciones óptimas de humedad (Agua) y aireación (Oxígeno), promueven la actividad de los microorganismos que descomponen los residuos, generando emisiones de CO<sub>2</sub>, altas temperaturas y lixiviados. El producto obtenido, COMPOST es inocuo y estable.

Inocuo, porque las altas temperaturas “limpian” la mezcla y estable porque una vez que culmina el proceso, el compost mantiene sus características en el tiempo.

**El material compostable:** Debe cumplir con normas técnicas específicas. Existen normas internacionales que regulan y miden la velocidad de los procesos de biodegradación tanto en Estados Unidos como en Europa, así como normas IRAM en Argentina.

Las normas internacionales que establecen los requisitos técnicos para los materiales plásticos biodegradables y compostables son EN 13432 (Unión Europea) y ASTM D-6400 (USA).

**Estados Unidos:** ASTM D6400-99 “Especificación standard para los plásticos compostables”, es una norma que establece los requisitos; y la norma ASTM D5338-98 “Método de ensayo standard para la determinación de la degradación aeróbica de los materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje” es una norma de procedimiento para medir la degradación aeróbica.

**Europa:** EN 13432 “Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación” y la norma EN 14855 “Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final y desintegración de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas” es la norma que describe el procedimiento del análisis.

Según la normativa europea EN-13432 que regula las características de la biodegradabilidad y la compostabilidad, la biodegradabilidad, es la capacidad de una materia para degradarse, sea por forma aeróbica o anaeróbica, y lo tiene que hacer en su mayoría (mínimo el 90%) en un plazo de 6 meses en un ambiente rico de dióxido de carbono. Además, al entrar en contacto con materiales orgánicos, en un máximo de 3 meses el 90% de la materia tiene que estar convertida, como mínimo, en fragmento inferior a los 2 mm. Por otra parte, el material no debe tener impacto negativo en el proceso de compostaje ni contra producente para el crecimiento de las plantas, debe tener baja concentración de metales pesados incorporados en el material; los valores de pH dentro de los límites establecidos; el contenido salino dentro de los límites establecidos; concentración de sólidos volátiles dentro de los límites establecidos; concentración de nitrógeno, fósforo, magnesio y potasio dentro de los límites establecidos.

**Argentina:** Normas IRAM 29420 cuyo título es: “Materiales plásticos biodegradables y/o compostables – Terminología”. En nuestro país los plásticos compostables deben cumplir la norma IRAM 29421 titulada: “Materiales y productos plásticos biodegradables y compostables. Requisitos para su valorización mediante compostaje”.

La norma IRAM 29422 titulada: “Determinación de la biodegradabilidad aeróbica última de los materiales plásticos bajo condiciones controladas de compostaje. Método por análisis del dióxido de carbono producido, determina las condiciones de laboratorio para la biodegradación aeróbica de materiales plásticos en condiciones de compost, tanto de la materia prima como del producto elaborado.

En el ámbito de los plásticos compostables, normalmente se habla de dos principales tipos de compostaje:

- El compostaje doméstico (también llamado Home Compost), que puede realizarse por un particular en condiciones poco o nada controladas.
- El compostaje industrial, que se realiza en plataformas destinadas a tal fin y bajo condiciones controladas.

El objetivo de las normas es especificar los plásticos (materia prima) y los productos fabricados con plásticos biodegradables que son designados como compostables en instalaciones municipales o industriales de compostaje aeróbico, así como los requerimientos para que los envases puedan llevar la inscripción o etiqueta “Compostable en instalaciones industriales o municipales”.

Además, las propiedades de estas especificaciones son las requeridas para determinar si los productos fabricados con los plásticos se compostan adecuadamente, incluyendo la biodegradación a una velocidad compatible con materiales que normalmente se someten al proceso de compostaje (por ejemplo, restos de comestibles, vegetales, cortes de pasto, poda, etc.)

### 3.8 Ácido poliláctico: polímero biodegradable producido por vía fermentativa

**Ácido poliláctico (PLA)** está basado 100% en el almidón obtenido del maíz, trigo, papas, yuca, mandioca, o de caña de azúcar. Para su producción, el almidón es transformado biológicamente (en un proceso de fermentación) por microorganismos en ácido láctico que es el monómero básico. Mediante un proceso químico el ácido láctico se polimeriza transformándolo en largas cadenas moleculares denominadas ácido poliláctico.

PLA es un plástico biodegradable que pueden ser extruído inyectado, soplado, termoformado, impreso y sellado por calor para producir gran diversidad de productos y envases flexibles y rígidos. Tiene también usos médicos en suturas, implantes y sistemas de liberación de drogas. El ácido poliláctico o poliácido láctico (PLA) es un polímero o bioplástico constituido por elementos similares al ácido láctico, con propiedades semejantes a las del tereftalato de polietileno (PET) que se utiliza para hacer envases, pero que además puede ser biodegradable bajo ciertas condiciones a temperaturas del orden de 60 °C.

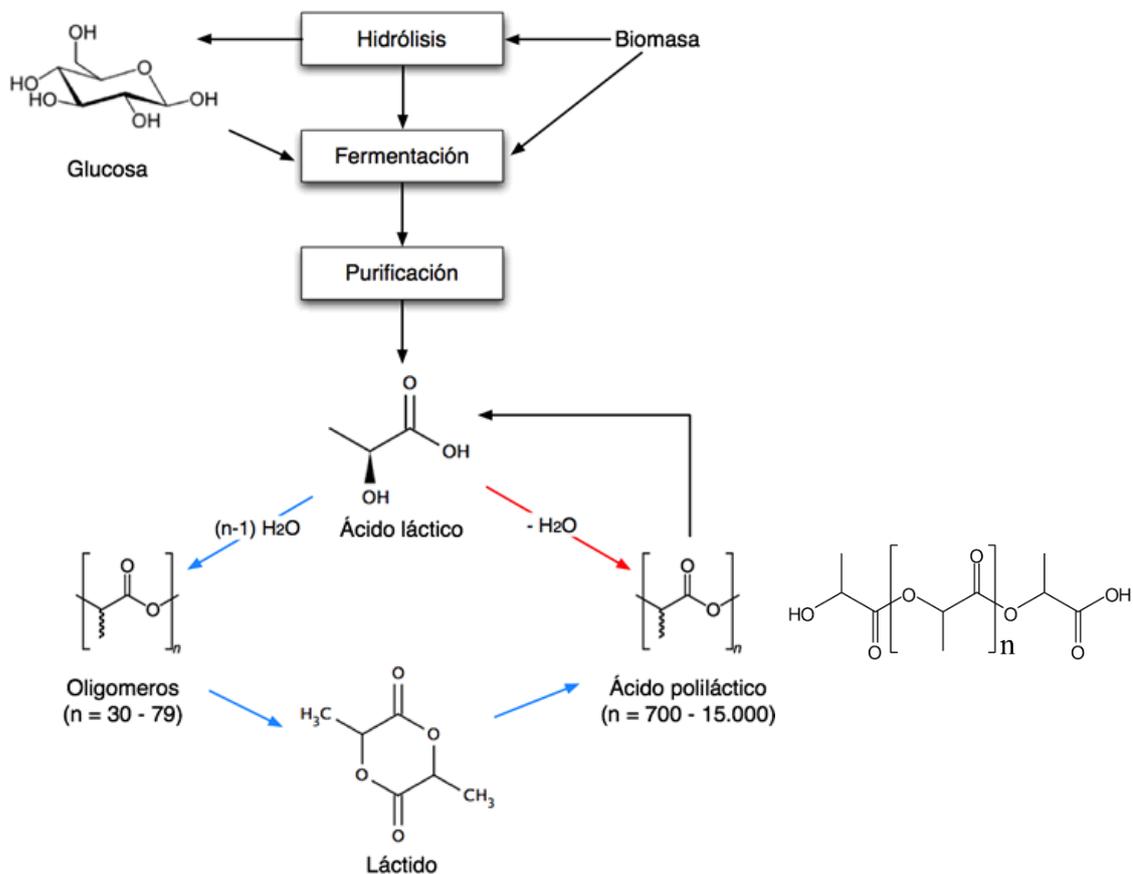
Se puede degradar en agua y dióxido de carbono. PLA se producen mediante polimerización por apertura de los anillos de lactidas. Es un material termoplástico que se está utilizando ampliamente en sectores como la alimentación, packaging – embalajes, impresoras 3D u otros; a través de moldes de inyección, se obtiene un gran número de piezas.

El PLA se utiliza para una variedad de películas, envolturas y recipientes (incluyendo vasos y botellas). En 2002, la FDA dictaminó que el PLA era seguro de usarse en todos los envases de alimentos.

La BASF comercializa un producto llamado Ecovio®, que es una mezcla biológica del compostable y degradable copolímero Ecoflex® certificado por la compañía y el PLA. Una aplicación para este material certificado compostable y bio-basado es en cualquier clase de películas plásticas tales como las bolsas de compras o las bolsas orgánicas para basura.

El Ecovio® también se puede utilizar en otras aplicaciones, como en los artículos termoformados y moldeados por inyección. Incluso se pueden producir con este versátil biopolímero los productos de recubrimiento de papel o de espuma de partículas.

La Fig. 3.7 muestra el esquema de producción de ácido poliláctico a partir de la polimerización del ácido láctico obtenido por fermentación de glucosa.



**Fig. 3.7** Esquema de producción de **Ácido poliláctico**, polímero biodegradable que se obtiene de la fermentación de glucosa y luego el ácido láctico producido se polimeriza

### 3.9 Polihidroxicanoatos

Los polihidroxicanoatos o ácidos polihidroxicanoicos (PHAs) son polímeros, hidrofóbicos lineales de hidroxiaácidos, que se obtienen a partir de microorganismos que los acumulan como sustancias de reserva; desde el punto de vista químico se clasifican como polioxoésteres alifáticos. Son producidos y acumulados por una enorme variedad de bacterias, así como ciertas arqueas. Se estima que más del 30% de las bacterias del suelo son capaces de sintetizar algún tipo de PHA. Por otro lado,

esta capacidad está extendida por muy diversos ecosistemas aeróbicos y anaeróbicos, como lodos, lagos, mares e incluso ambientes extremos (García Hidalgo, 2014)

Los PHA son los únicos bioplásticos completamente sintetizados por microorganismos. Estos poliésteres son producidos y almacenados intracelularmente en condiciones de crecimiento desequilibrado, fundamentalmente en presencia de un exceso de fuentes de carbono y deficiencia de algún otro nutriente esencial, como nitrógeno, azufre, fósforo u oxígeno.

Los dos compuestos más comunes dentro de los PHA son: el polihidroxibutirato (PHB) y el copolímero de polihidroxibutirato y polihidroxivalerato conocido como polihidroxibutirato-valerato (PHBV). El PHA más conocido es el polihidroxibutirato (PHB), y el más usado en el envasado de alimentos. Además de la biodegradabilidad, los PHA presentan propiedades termoplásticas y una buena capacidad de barrera a la humedad, asemejándose en parte al polipropileno en sus propiedades mecánicas; sin embargo, es más quebradizo. Los PHA fueron descritos por primera vez en 1925 por el investigador francés Maurice Lemoigne, director del servicio de fermentación del Instituto Pasteur, en Lille (Francia).

La forma más simple y más común de PHA es la producción fermentativa de poli-beta-hidroxibutirato (poli-3-hidroxibutirato, P3HB), que consta de 1000 a 30000 monómeros. Recién en la década del 50 varios laboratorios del Reino Unido y los Estados Unidos confirmaron la naturaleza de este polímero, y se interesaron por la función biológica, biosíntesis y degradación del *polihidroxibutirato* (PHB) (Fig. 3.8).

Generalmente se considera que la función biológica de los PHA es servir de reserva de carbono y energía para la célula productora. Más recientemente se detectó que rutas de síntesis y degradación de PHA estarían íntimamente relacionadas con el metabolismo central del carbono en las bacterias productoras. Una compleja sincronización de ciclos metabólicos facilitaría a los micro-organismos productores de PHA una rápida y eficaz adaptación a nichos con condiciones cambiantes, pobres en nutrientes o con una elevada competitividad. La acumulación de PHA permite a las bacterias el mantenimiento de las capacidades metabólicas óptimas en condiciones subóptimas, y les confiere resistencia durante largos periodos a una gran variedad de situaciones de estrés físico y químico (Kadouri y col. 2005; Castro-Sowinski y col. 2010; García Hidalgo 2014)

Los PHA se sintetizan y acumulan en el interior de la célula productora, en forma de inclusiones citoplásmicas conocidas como gránulos de PHA. Estas estructuras, de entre 100 y 500 nm, son visibles al microscopio de contraste de fases como glóbulos brillantes, y pueden llegar a representar el 90% del peso seco de la célula productora (Fig. 3.8).

**PHA para el envasado y embalaje:** Los PHA se empezaron a producir industrialmente y comercializar en 1982 por la compañía química británica Imperial Chemical Industries (ICI), bajo el nombre comercial Biopol™, actualmente es comercializado por la empresa estadounidense Metabolix. Es un copolímero de 3-hidroxibutirato y 3-hidroxivalerato, producido por fermentación bacteriana y usado para la fabricación industrial de botellas de champú y otros envases.

Otros PHA, se han empleado en la fabricación de films para embalaje, bolsas aptas para compostaje, revestimiento de vasos de papel, cuchillas desechables, capas impermeables de pañales y artículos de higiene femenina, tapicerías, alfombras y todo tipo de envases (Chen, 2010; Garcia Hidalgo, 2014). Es especialmente interesante la posibilidad de usar PHA en el recubrimiento de envases alimentarios de cartón, sustituyendo al aluminio y obteniendo un envase totalmente biodegradable. También es relevante la barrera que proporciona el PHBV frente a la difusión de gases, cualidad muy útil para el envasado de alimentos así como de bebidas, pudiendo llegar a sustituir parcialmente el uso masivo de PET en botellas (Philip y col., 2007).

**PHA en agricultura:** Los PHA se han empleado con éxito en agricultura y horticultura. El uso más extendido consiste en la fabricación de film agrícola para acolchado de cultivos. Mediante este acolchado se evita el crecimiento de malezas en cultivos, se mantiene una temperatura más alta y estable en el suelo y se concentra la acción de pesticidas sobre el cultivo, a la vez que se protege el suelo frente a agentes meteorológicos que producen su erosión y lavado. También se emplean PHA para las mallas de césped, macetas para trasplante, y otros elementos en agricultura, siempre con la gran ventaja de la biodegradabilidad de estos materiales, que no necesitan ser retirados del propio campo de cultivo. Existe una serie de aplicaciones agrícolas especializadas, principalmente la liberación controlada de pesticidas mediante su inclusión en gránulos de PHA, que liberarán el producto químico conforme se vayan degradando. Técnicas similares se usan para la liberación de nutrientes directamente en la raíz del cultivo. Los PHA también se degradan en ambientes anaerobios, por lo que estas técnicas también se pueden emplear en cultivos como los arrozales (Philip y col., 2007).

**PHA en biomedicina:** Los PHA han encontrado numerosas aplicaciones en el campo de la biomedicina, debido principalmente a su combinación de biocompatibilidad, hidrofobicidad y biodegradabilidad (Garcia Hidalgo, 2014). Estas aplicaciones han visto limitada su expansión por la disponibilidad de estos poliésteres en cantidades suficientes. Por el momento, sólo algunos PHA como PHB, P(HB-co-HV), P(3HB-co-4HB), P4HB, PHO (Poli-3(hidroxihexanoico-co-hidroxi octanoico)) son producidos y destinados a esta clase de aplicaciones.

Adicionalmente, los polímeros empleados en tejidos vivos deben reunir una serie de requisitos especiales en cuanto al contenido de endotoxinas, lo cual encarece los procesos de producción y purificación, ya que actualmente todos los PHA se producen por fermentación de bacterias Gram negativas, cuya membrana externa contiene gran cantidad de endotoxinas conocidas como lipopolisacáridos (Philip y col. 2007).

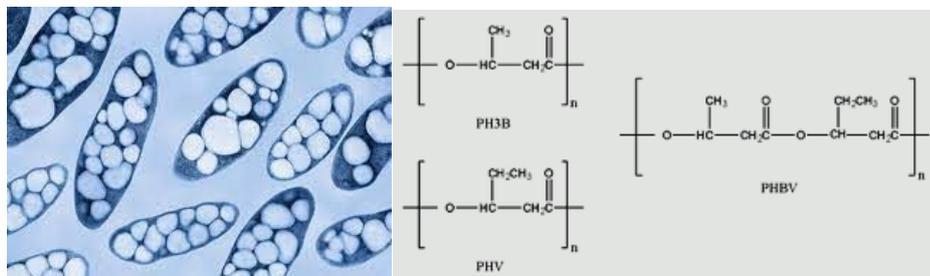
La aplicación médica más directa de estos bioplásticos es la fabricación de toda clase de elementos e implantes quirúrgicos, tales como hilo de sutura, grapas, tornillos o placas, y especialmente en el área cardiovascular, con cánulas, injertos, válvulas cardíacas, revestimiento interno de vasos sanguíneos (Philip y col. 2007, Chen 2010).

El PHB tiene gran importancia en la fabricación de prótesis para la regeneración de tejidos óseos, sobre todo en combinación con partículas de hidroxiapatita, que le dan una resistencia mecánica similar a la del hueso humano, sin afectar a su capacidad de reabsorción gradual (Philip y col. 2007). El éxito de su implementación en la ingeniería

de tejidos vivos se debe a que no producen reacción vascular aguda *in vivo* durante periodos superiores a un año.

También se ha demostrado la ausencia de toxicidad y de efectos inmunoestimulantes de sus productos de degradación *in vivo*. De hecho, se ha observado que los productos oligoméricos de los PHA estimulan la activación de canales de calcio y promueven la regeneración de tejidos dañados (Chen 2009).

Los PHA también se han empleado con éxito desde principios de la década de los 90 como vehículos para la liberación controlada de fármacos como antibióticos o antitumorales. Por ejemplo el P(HB-co-HV) se puede emplear en administración oral de sustancias. Por el momento sólo PHB y P(HB-co-HV) han sido empleados para estos fines, pero se espera la incorporación de otros PHA con distintas propiedades que mejoren el control sobre la tasa de liberación de los fármacos (Chen 2010).



**Fig. 3.8. Los Polihidroxialcanoatos (PHA) son poliésteres lineales intracelulares producidos en la naturaleza por la acción de las bacterias por fermentación del azúcar o lípidos. PHV=polihidroxivalerato; PHBV =polihidroxibutirato-valerato; P3HB =poli-3-hidroxibutirato**

### 3.10 Emisión de gases efecto invernadero

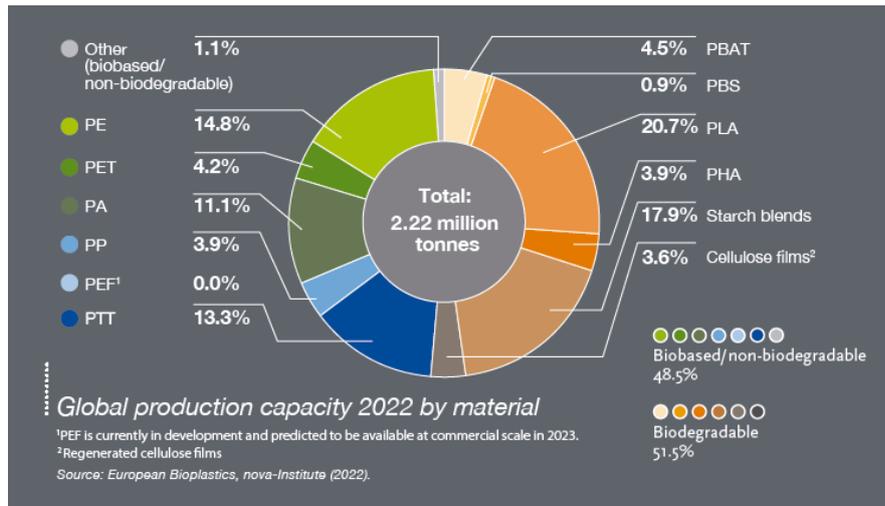
Para producir plástico derivado del petróleo, la cantidad de CO<sub>2</sub> equivalente emitido es de aproximadamente 4-8 kg de CO<sub>2</sub> por kg de plástico, mientras que para producir plástico biodegradable es de alrededor de 1-6 kg de CO<sub>2</sub> por kg de plástico.

Obviamente, estos valores se refieren sólo al corto tiempo que transcurre desde el comienzo de la transformación de la materia prima hasta la entrada en la fábrica y pueden variar con otros tipos de procesamiento que se someten durante su vida.

Sin embargo también debe tenerse en cuenta que por ejemplo durante el compostaje y/o su biodegradación, los biopolímeros emiten metano, que es 21 veces más contaminante que el CO<sub>2</sub> (el efecto de calentamiento de una molécula de CH<sub>4</sub> es 39-72 veces más fuerte que el de una molécula de CO<sub>2</sub>).

### 3.11 Producción global de bioplásticos

La Fig. 3.9 muestra la producción global de bioplásticos en 2022. Téngase en cuenta que **European Bioplastics** define bioplásticos los plásticos que son biobasados, biodegradables o ambos.



**Fig.3.9 Producción de bioplásticos. Fuente: European Bioplastics . Bioplastics Facts and figures 2023**

Puede observarse que los bioplásticos actualmente representan menos de 1% de los más de 390 millones de toneladas de plástico producidos anualmente. Pero como la demanda está aumentando con materiales, aplicaciones y productos emergentes, el mercado está creciendo dinámicamente.

Como se mencionó anteriormente los bioplásticos no son un solo material. Comprenden toda una familia de materiales con diferentes propiedades y aplicaciones. Hay tres grupos de bioplásticos, cada uno con características propias:

- **Plástico biobasado (o parcialmente biobasado), no biodegradable:** incluye plásticos, biobasados como polietileno (PE), polipropileno (PP), tereftalato de polietileno (PET), poliamidas biobasadas (PA), tereftalato de politrimetileno (PTT) o polímeros totalmente nuevos como el polietileno furanoato (PEF);
- **Plásticos de base biológica y biodegradables,** como el ácido poliláctico (PLA), polihidroxialcanoatos (PHA), succinato de polibutileno (PBS), mezclas con almidón
- **Plásticos basados en recursos fósiles y biodegradables,** como tereftalato de adipato de polibutileno (PBAT).

La industria de los bioplásticos es un sector joven e innovador con un enorme potencial económico y ecológico por una bioeconomía circular y baja en carbono que utilice recursos más eficientemente. La Unión Europea reconoce los beneficios y asigna fondos y recursos para investigación y desarrollo en este sector. **(European Bioplastics. Bioplastics Facts and figures 2023).**

Se estima que el mercado mundial de bioplásticos crecerá continuamente durante los próximos años. Según los últimos datos de mercado recopilados por European Bioplastics en colaboración con el Nova-Institute, se prevé que la capacidad global de producción de los bioplásticos crezca desde alrededor de 2,2 millones de toneladas en 2022 a aproximadamente 6,3 millones de toneladas para 2027.

Existen alternativas de bioplásticos para casi todos los convencionales. Debido al fuerte desarrollo de polímeros, como los PHA (Polihidroxialcanoatos), ácido poliláctico

(PLA), PA (poliamidas) así como del Polipropileno (PP), las capacidades de producción seguirán aumentando significativamente y se irá diversificando en los próximos años.

Los precios más altos de los plásticos biodegradables que de los de los polímeros convencionales, dificultan el crecimiento del mercado en varios segmentos de aplicación. Normalmente, el costo de fabricación de los plásticos biodegradables es un 20-80% superior al de los plásticos tradicionales. Se debe tratar de producir plásticos biodegradables a precios competitivos.

### 3.12 Situación en Argentina

En Argentina, no se fabrica materia prima biodegradable para abastecer a la industria. No hay aún producción a escala industrial.

La Comisión Nacional Asesora en Biomateriales (COBIOMAT), un órgano asesor intersectorial integrado por representantes de entidades públicas (universidades, centros de investigación) y de entidades privadas (cámaras de comercio y empresas), es la destinada a brindar asesoramiento técnico y sectorial para promover la producción y consumo de biomateriales generados a partir de materias primas agroindustriales en el ámbito de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación( Ecoplas , 2023)

Cabe señalar que Ecoplas integra la COBIOMAT e impulsó la conformación del Grupo de Trabajo de Bioplásticos para estudiar el desarrollo local a escala industrial

### 3.13 Referencias bibliográficas

Castro-Sowinski, S., Burdman, S., Matan, O. , Okon, Y. (2010). Natural functions of bacterial polyhydroxyalkanoates. En: *Plastics from Bacteria*. 14. Ed: G. G. Q. Chen. Springer Berlin Heidelberg. pp.39-61.

Chen, G. Q. (2009). A microbial polyhydroxyalkanoates (PHA) based bio- and materials industry." *Chemical Society Reviews* 38(8): 2434-2446.

Chen, G. Q. (2010). Plastics completely synthesized by bacteria: Polyhydroxyalkanoates. En: *Plastics from Bacteria: Natural Functions and Applications*. 14. Ed: G. G.Q. Chen. Springer Berlin Heidelberg. pp.17-37.

European Bioplastics. 2023.Bioplastics: facts and figures.

García Hidalgo Javier (2014) PHB despolimerasas de *Streptomyces exfoliatus* y *Streptomyces ascomycinicus*. Caracterización de enzimas con potencial aplicación biotecnológica *Tesis Doctoral para optar al título de Doctor enBiología con Mención Europea, por la Universidad Complutense de Madrid*

Kadouri, D., Jurkevitch, E., Okon, Y. , Castro-Sowinski, S. (2005). Ecological and agricultural significance of bacterial polyhydroxyalkanoates. *Critical Reviews in Microbiology* 31(2): 55-67.

Philip, S., Keshavarz, T. , Roy, I. (2007). Polyhydroxyalkanoates: Biodegradable polymers with a range of applications. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* 82(3): 233-247.

Tokiwa, Y., Calabia, B., Ugwu, C. Aiba, S. (2009). Biodegradability of Plastics. *International Journal of Molecular Sciences* 10(9): 3722-3742.

## Residuos plásticos generados

**Lic. Juan José Paladino**

La aparición del plástico como elemento de consumo masivo, fue muy exitoso, multiplicándose su uso en las últimas 3 décadas en casi todos los rubros industriales, comerciales, de empresas de servicios y de uso doméstico.

El devenir de los tiempos demostró que ese dúctil material, que facilitó muchas actividades y generó bienestar en casi todos los sectores de la sociedad, desplazando al vidrio, la madera y algunos metales, se transformó en un problema al ser necesaria su eliminación, en general con vida útil muy corta, lo cual generaba y genera en la actualidad un problema ambiental de envergadura a nivel global.

Por ello, encontrar un sistema de gestión de estos residuos, que no sea solamente su disposición final en rellenos sanitarios o en vertederos clandestinos, es un verdadero desafío, que implica incorporar tecnología en el diseño y composición del mismo, que facilite su reutilización y tratamiento; considerar los aspectos sociales que implica su recuperación; establecer una economía saludable, aun cuando parte del sistema deba ser subsidiado por los distintos estamentos del estado (nacional, provincial y municipal) y que dicho sistema sea compatible con un ambiente sustentable.

No obstante, en la informalidad y a veces en la clandestinidad existen sistemas de gestión de diversos residuos, de los más antiguos como el papel, el cartón y a veces el vidrio, como también los plásticos. Estos sistemas históricamente se inician con los denominados “cartoneros”, hoy “recuperadores urbanos” en algunos casos organizados en cooperativas, otros como individuales informales, que reportan su colección diaria a intermediarios, que clasifican el material, lo enfardan y lo envían a la industria para su procesamiento. Buena parte de la industria papelera y del cartón, y también la del vidrio utilizan materias primas recicladas, y la más moderna es la del plástico, que se ha multiplicado y modernizado en los últimos años. Si este circuito, en su parte de recolección, selección y provisión de materia prima a la industria, ha funcionado desregulada durante tantas décadas, no es difícil pensar que una legislación acorde, que formalice cada una de las etapas, desde la generación, hasta un producto de uso final, mediante diversas tecnologías desde las más simples a las más sofisticadas, permitirá ser eficiente al sistema, mejorar la calidad de vida de los recuperadores urbanos, mejorar el funcionamiento de las cooperativas, eliminar la evasión impositiva y lo más importante mejorar los estándares ambientales en el marco de una economía circular.

La magnitud de la problemática se visualiza, cuando nos informamos sobre la existencia de 5 “Islas de Plásticos”, en los océanos, dos (2) en el Océano Pacífico, una al Norte (a la altura de California y el Archipiélago Hawaiano) y la otra al Sur (frente a las costas de Chile y Perú); dos (2) en el Océano Atlántico, una al Norte (entre EE. UU. y México) y una al Sur (entre Sudamérica y el sur de África); por último, la isla del Océano Índico. Estas masas de residuos se mueven según las corrientes oceánicas, y tienen dimensiones impresionantes. La más grande es la del Pacífico Norte, con una dimensión similar al territorio de España, Francia y Alemania juntas (Fuente: UNEP).

Pensemos, que esto es lo que se ve por su magnitud, el resto se encuentra distribuido en grandes ríos, mares y océanos en proporciones menos significativas, y los que no se ven, ya que yacen sumergidos bajo las aguas, también son una amenaza a los ecosistemas, sin contabilizar los micro y nano plásticos que afectan a la fauna y ponen en riesgo la salud humana.

#### 4.1 Fuentes de generación de los residuos plásticos (RPL): RSU (residuos sólidos urbanos), fitosanitarios, construcción, industriales, RAEE’s (residuos de aparatos eléctricos y electrónicos), etc.

La ductilidad del material plástico estableció una generalización de su uso, a casi todas las actividades de las sociedades modernas, aún de aquellas que se encuentran en un estado de significativo subdesarrollo.

Si bien el abordaje de este tema es de una complejidad trascendente, que demandará un tiempo muy considerable para encauzarla, será necesario establecer metas alcanzables, en primer término, sobre aquellos plásticos que su vida útil es efímera, y que debe resolverse sobre el futuro de estos (reutilización, reconversión para otros productos, tratamiento y disposición final). En esta línea, se encuentra su principal generación en la Industria Alimenticia, y el producto final, luego de pasar por la cadena de comercialización, termina como residuo mayoritariamente en las residencias de la comunidad. Otro residuo de corta vida útil, son los envases de fitosanitarios y domisanitarios, pero en este caso en particular, existen normativas al respecto (Ley de Presupuestos Mínimos N° 27.279), que generan conceptos modernos, como la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) y sistemas de gestión incipientes que habrá que profundizar y dinamizar.

*Nota: Se entiende por producto **domisanitario** a aquellas sustancias o preparaciones destinadas a la limpieza, lavado, odorización, desodorización, higienización, desinfección o desinfestación, para su utilización en el hogar, y/o ambientes colectivos públicos y/o privados*

En contraposición con lo anterior, los Aparatos Eléctrico y Electrónicos (AEE’s), tienen una vida útil infinitamente superior a los envases plásticos de distintos usos, y por eso puede ponerse en un segundo plano de prioridades, sin dejar de considerar que los Residuos Eléctricos y Electrónicos (RAEE’s), son una problemática que debe abordarse en el corto plazo. En este sentido, ya hay normativas al respecto en varias jurisdicciones, como CABA, PBA, Chaco, Santa Fé, Chubut, La Rioja y San Juan (En el Capítulo 8, se referencian las legislaciones nacionales y provinciales en la materia).

También es importante destacar en relación con los residuos plásticos, que se han generado decenas de empresas dedicadas a su recuperación, adaptación para otros usos, con diferentes tecnologías, en distintas provincias, por supuesto en su mayoría en Provincia de Buenos Aires, por ser la mayor concentración urbana y como consecuencia, donde se produce la mayor generación de estos residuos.

En la Tabla 4.1., se sintetizan los principales generadores de residuos plásticos en la actualidad, sus posibles destinos finales, normativas nacionales asociadas y ejemplo de regulaciones en la Provincia de Buenos Aires.

Tabla 4.1 Principales generadores de Residuos Plásticos, destinos posibles y regulaciones nacionales y de la Provincia de Buenos Aires, asociadas a la temática. Fuente: Elaboración propia

Actividades Generadoras de RPL	Tipos de RPI Generados	Posibles destinos	Orden de Magnitud de Generación de Residuos	Normativas Asociadas Nacionales	Normativas en Provincia de Buenos Aires
<b>A)</b> Industrias en general y Empresas de Servicios.	1- Envases y Plásticos reutilizables o reciclables	-Cooperativas de reciclado. -Reúso.	4	LPM* 25916	Ley 13592. Res. OPDS 139/13
	2- Envases y plásticos contaminados con insumos o materias primas u otros.	-Tratamiento y Disposición Final como RP. -Lavado y reúso. -Devolución al proveedor. -RSU. Disp. Final**		Ley N° 24051 LPM*25612 LPM* 25916	Ley 13592, Resol. OPDS 139/13. Ley 11720. Dtos. 806/97 y 650/11 y Resol. Complem.
	3- Scrap en la fabricación de plásticos.	-Material destinado al reciclaje propio o de terceros.		LPM* 25612 Residuos Industriales No Peligrosos	Resol. OPDS 139/13
<b>B)</b> Hipermercados, shopping, supermercados y comercios en general.	1- Packaging. 2- Plásticos de un solo uso	-Cooperativas de reciclado. -Recicladores informales. -RSU. Disp. Final**	6	LPM* 25916	Ley 13592, Resol. OPDS 317/20.
<b>C)</b> Restaurant, comidas rápidas, otras actividades similares.	1- Packaging 2- Plásticos de un solo uso.	-Cooperativas de reciclado. -Recicladores informales. - RSU. Disp. Final**	7	LPM* 25916	Ley 13592, Resol. OPDS 317/20.
<b>D)</b> Agricultura	1-Envases Vacíos de Fitosanitarios	-Reciclado -Tratamiento como Resid. Peligroso.	2	LPM* 27279. Dto. 134/18 Ley 24051 LPM*25612	Dto.283/18. Resol. 505/19 y 14/21
	2-Silo bolsas	-Reciclado	5		
	3-Envases de Domisanitarios	-Reciclado -Tratamiento como Residuos. Peligroso	9		Dto.283/18. Resol.505/19 Resol. 14/21 y 15/21.
<b>E)</b> Fabricación o Importación de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE´s)	1- Plásticos reciclables	-Reciclado	3	LPM* 25675 Resol. 522/16	Ley 14321. Resol. OPDS 269/19 Resol. MA 331/23
	2- Plásticos no reciclables	-Tratamiento como Resid. Peligroso		LPM* 25916	Ley 14321. Resol. 269/19 Ley 11720 Dtos. 806/97 y 650/11 y Resol. Complem.
<b>F)</b> Oficinas Públicas, municipales, provinciales o nacionales	1- Envases	-Reciclado	8	LPM* 25916 LPM* 25675	Ley 13592 Dto.1215/10 Resol. 317/20
	2- RRAE´s	-Reciclado -Disp. Final		LPM* 25675 LPM* 25916	Ley 14321 Resol. 269/19 Ley 11720. Dtos. 806/97 y 650/11 y Resol. Complem.
<b>G)</b> Residenciales.	1-Countrys, B° Cerrados, etc.	-Cooperativas de Reciclad. -RSU Disp. Final**	1	LPM* 25916	Ley 13592 Dto.1215/10 Resol. 137/13
	2-Edificios Dtos.	-Cooperativas de Reciclad. -RSU Disp. Final**		LPM* 25916	Ley 13592 Dto.1215/10
	3-Casas Particulares	-RSU Disp. Final** -Selección en origen.		LPM* 25916	Ley 13592 Dto.1215/10

\* LPM: Ley de Presupuestos Mínimos

\*\*RSU Disposición Final: En Rellenos Sanitarios o Basurales a Cielo Abierto Formales o Clandestinos.

## 4.2 Recolección, acopio, segregación, reciclado y reuso. Dificultades inherentes a la incompleta o incorrecta gestión de los RPL.

Es importante destacar, que particularmente en Argentina, se dificulta homogenizar las normativas, y por lo tanto las políticas y en consecuencia las acciones que permitan llevar adelante una gestión armónica, sincrónica, tendientes a procesos y tecnologías en el marco de una economía circular. La característica federal de la República Argentina, la cual no es caprichosa, sino parte de su gestación como Nación, estableció en la Constitución Nacional de 1994, que las cuestiones ambientales son responsabilidad de las Provincias, y se establece en la misma la necesidad de contar con Leyes de Presupuestos Mínimos (LPM), que contemplen aquellas cuestiones esenciales de la temática ambiental que deben cumplirse en todo el territorio nacional, y donde las jurisdicciones locales de acuerdo a la realidad propia de su territorio, pueden ser más exigentes, pero nunca más benignas.

Si bien, desde la sanción de la Constitución de 1994 se han sancionado varias LPM, algunas que contemplan parcialmente los RPL, como ser:

- Ley 25612 (2002)- *“Gestión Integral de Residuos Industriales y de Actividades de Servicio”*. La cual contempla dentro de la gestión de los residuos normados, a los RPL, en forma genérica sin discriminación.
- Ley 25675 (2002)- *“Ley General del Ambiente”*. No habla específicamente de los RPL, pero, cobra una importancia trascendente, ya que define claramente el alcance de las LPM, genera instrumentos de Política, Gestión y Ordenamiento Ambiental, los cuales han establecido un hito jurídico superlativo, en el abordaje de cualquier temática ambiental.
- Ley 25916 (2004)- *“Gestión de Residuos Domiciliarios”*. Esta normativa es clave, en virtud de la cantidad de residuos plásticos que componen los mismos, y en la que se establece, la clasificación y gestión diferenciada y se introducen conceptos de valorización de estos residuos. No obstante, si bien es orientadora, no establece específicamente conceptos sobre los distintos tipos de residuos que componen los residuos domiciliarios, los cuales ameritan sistemas de gestión particularizados en alguna etapa de la generación, recolección y segregación. Es importante la reglamentación de esta normativa, mediante el Decreto N° 779/22, porque establece una serie de pautas sobre el sistema de gestión de los RSU, las cuales incluyen a los RPL de ese origen, y también establece un “Código unificado de colores para a Clasificación e Identificación de los Residuos Domiciliarios”. Sería muy importante que las jurisdicciones provinciales, adhirieran fehacientemente a esta normativa.
- Ley 27279 (2016)- *“Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental para la Gestión de Envases Vacíos de Fitosanitarios (EVF)”*. Esta normativa, sí es específica, dado que refiere con claridad a los plásticos utilizados en los productos fitosanitarios y aborda toda la vida desde su producción, hasta su tratamiento y disposición final (“de la cuna a la tumba”), o bien desde su producción, hasta su reuso (“de la cuna a la cuna”). Por otra parte, incorpora taxativamente el concepto de Responsabilidad Extendida del Productor (REP),

e incorpora responsabilidades a toda la cadena de producción, comercialización y consumo, transporte y operadores de residuos.

Como puede observarse, solo en el caso de los EVF, se establece un sistema de gestión específico para una actividad importante en la generación de RPL, la cual se encuentra en distintos grados de desarrollo en el cumplimiento de la misma, según las jurisdicciones que se traten.

El resto de las actividades generadoras de RPL, no tienen identidad global, por no contar con LPM específicas, que establezcan definiciones, pautas, y mecanismos de gestión para los diferentes tipos de plásticos y de las actividades generadoras. Cada jurisdicción, establece a su mejor saber y entender, dentro de sus posibilidades técnicas, operativas, sociales y económicas, las políticas y la gestión de los RPL, existiendo una variedad de criterios, en algunos casos no compatibles entre jurisdicciones vecinas.

El mercado, al no existir una regulación específica, respecto a estos residuos como tantos otros de generación universal (papel, cartón, metales, vidrio, etc.), establece sistemas que se inician informalmente y que luego son procesados para la fabricación de productos reciclados industrialmente, que luego se distribuyen para su comercialización, los casos del papel, el cartón y el vidrio, son los residuos más paradigmáticos y más antiguos en éste sistema, que a pesar de su informalidad inicial, son medianamente exitosos.

En cuanto a los RPL, está ocurriendo algo similar, en una etapa más incipiente, con varias empresas recicladoras, inclusive con organizaciones empresariales que las agrupan, como la Cámara Argentina de la Industria Plástica (CAIP), Cámara Argentina de la Industria de Recicladores Plásticos (CAIRPLAS), y ONG's, como ECOPLAS, entre otras.

Las empresas recicladoras, se abastecen de la materia prima, a través de una serie de cooperativas de recicladoras urbanas, algunos municipios, y de grandes generadores (hipermercados, centros comerciales e industrias).

También se han presentado un par de proyectos en la Legislatura Nacional, referido a una norma sobre "Envases", y otro sobre "Prohibición de los Plásticos de Un Solo Uso", ambos se encuentran en trámite legislativo.

El sistema de gestión específico de RPL, al no estar regulado, depende de actividades algunas formales como: Municipios, que individualmente, pueden presentar separación en origen y/o plantas de separación, segregación diferenciada y acopio; industrias que reciclan distintos tipos de RPL; actividades de reuso, principalmente de envases; y otras informales, como los recolectores urbanos, muchos de los cuales se han organizado en cooperativas de trabajo; el vuelco clandestino en basurales a cielo abierto, o simplemente dispuestos, en rellenos sanitarios mezclados dentro de los RSU, o también incinerados como residuos industriales (especiales o no especiales), o bien dispuesto en rellenos de seguridad; etc. Esta disfunción del sistema implica la imposibilidad de establecer certezas, sobre las magnitudes representativas de los distintos procesos de gestión (recolección, acopio, segregación, reciclaje y reuso), respecto de la producción de plásticos para los distintos usos.

La información y estadísticas existentes no provienen de las Autoridades de Aplicación Nacionales o Provinciales, en general son elaboradas por Cámaras empresarias, ONG's, a veces con alguna participación de instituciones científicas, o unidades académicas, que, si bien son respetables, tienen un abordaje estrictamente sectorial.

Un ejemplo de lo anterior, el cual es un dato relevante, es que durante 2022 el reciclado de plásticos fue de 343.000 Tn., de esta cifra, 318.000 toneladas (93 %) corresponden a plástico reciclado mecánicamente lo cual representó un incremento del 11% con respecto a 2021- y 25.000 toneladas ( 3%) para la generación de energía. (Fuente ECOPLAS y CAIRPLAS), con el consiguiente beneficio de haber evitado la liberación de más de 434.000 Tn. de CO<sub>2</sub> al año. Si bien, solo se recicla un máximo de 13 % de los plásticos que se generan.

Este dato, auspicioso, por cierto, se contrarresta del dado por la Minderoo Foundation (Asociación civil sin fines de lucro), que compiló del "2do Plastic Waste Makers Index", que indicaba que se generó en el mundo 139.000.000 de Tn. métricas, de desechos plásticos de un solo uso en el año 2021, un 4 % más que en 2019.

Un aspecto para considerar, además de la producción de plásticos y sus sistemas de gestión, es por un lado la falta de políticas activas, basadas en normativas específicas de Presupuestos Mínimos, y órganos de contralor y fiscalización eficiente, donde se contemple el "Ciclo de Vida" del residuo, con el concepto "de la Cuna, a la Cuna", donde rediseñar, reducir, reusar, reparar, renovar, reciclar y recuperar, sean preceptos básicos de un sistema futuro de gestión. Es evidente, que una política que se desarrolle con esos objetivos no puede continuar aceptando los plásticos de un solo uso.

Los sistemas de gestión que se lleven adelante, con las premisas mencionadas, no pueden soslayar, los distintos tipos de plásticos que se fabrican en el mercado según su tipo de resina y su capacidad de ser reciclables (*Termoplásticos*), como ser: PET (Tereftalato de Polietileno); HDEP (Polietileno de Alta Densidad); PVC (Policloruro de Vinilo); LPDE (Polietileno de Baja Densidad); PP (Polipropileno); PS (Poliestireno) y Otros Plásticos (Mezclas de varios tipos de plásticos, con resinas, retardantes de llama, aditivos varios, etc.), y como cada uno de ellos deberá tener pautas de fabricación, segregación, reciclaje, tratamiento y/o disposición final, etc. (Código de Identificación de Plásticos, creado por la Sociedad de la Industria de Plásticos, 1988).

También se fabrican o importan plásticos denominados *Termoestables*, que presentan dificultades para su reciclaje, producto de su constitución química, que exige modificar la estructura molecular, con la consiguiente pérdida de los atributos que caracterizan el producto.

El Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), incorporó bajo Norma IRAM 13700, una identificación internacional con una leyenda que identifica el tipo de plástico que se trate, a los fines de poder segregarlos adecuadamente y procesarlos según las características distintivas de cada uno.

Si a las siglas se les antecede la letra **R**, es indicativo que el plástico tiene material reciclado.



**Figura 4.1. Simbología internacional según tipo de plástico.**

Fuente: CAIRPLAS (Norma IRAM 13700)

Si bien todos estos son aportes que contribuyen al manejo de este tipo de residuos, son insuficientes para establecer un sistema de gestión, armónico, generalizado en el territorio y sustentable.

Es importante destacar, que la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, modificó la Ley 1854 de “Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos”, durante el año 2018, incorporando la Incineración con generación de energía (Termovalorización), como tecnología de tratamiento para los residuos generados en CABA, que la norma original prohibía taxativamente. Considerando que dichos residuos, son gestionados por un organismo tripartito (Nación, PBA y CABA), como la CEAMSE (Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad de Estado) dentro del territorio de PBA, en un sistema de rellenos sanitarios, el cual se pretendía reemplazar paulatinamente con plantas con estas tecnologías, tanto en CABA, como en PBA, gestionadas por la misma CEAMSE. Cuestionamientos desde distintos sectores de la comunidad, prestigiosas ONG’s, ámbitos científicos académicos, profesionales, y finalmente medida cautelar de la justicia, terminó por abortar este proyecto. La base del proceso de incineración de los RSU, es indudablemente para la efectividad del mismo y el costo de su funcionamiento, el poder calorífico de los materiales a procesar. Dentro de los RSU a incinerar, la cantidad de plásticos existentes, garantizaban los preceptos básicos de esta tecnología.

Si bien, esta tecnología se utiliza en muchos países desarrollados, hay cuestionamientos y replanteos de continuar con la misma, debido a la coalición con las políticas de reuso y reciclaje en el marco de la economía circular.

### **4.3 Comportamiento de los RPL en el ambiente. Afectación de la biota y ecosistemas en general.**

Es indudable la grave afectación que los distintos tipos de plásticos producen en los ecosistemas, afectando principalmente a la fauna y a la salud pública, estando presentes en todos los ambientes naturales, aún en aquellos impensados. En el sector continental, afecta a los recursos hídricos (ríos, arroyos y cuerpos lagunares), afectando principalmente a la fauna ictícola. El resto de los residuos plásticos, que no son recuperados, son dispuestos en Rellenos Sanitarios, o bien en los numerosos basurales a cielo abierto, que se distribuyen en las periferias de los grandes centros urbanos.

Un ámbito especial son los océanos, que son los receptores de la basura continental producto del desagüe directo de los ríos y arroyos; de los efluentes cloacales e industriales sin tratamiento o con tratamiento deficiente; sumideros y pluviales costeros; actividades costeras (turismo y pesca); buques pesqueros y de carga; etc.

Desde el año 2016, se realiza en la costa atlántica bonaerense un Censo Provincial de Basura Costera Marina, donde participan numerosas ONG's, instituciones científicas y municipios. El mismo se desarrolla entre las localidades de San Pedro y Bahía Blanca, entre los meses de septiembre y octubre. El último realizado durante el año 2022, arrojó un total de 74 % de plásticos sobre el total recolectado, discriminándose de la siguiente manera:

<i>Colillas de cigarrillos</i>	26,4 %
<i>Fragmentos plásticos</i>	17,3 %
<i>Envoltorios plásticos</i>	13,5 %
<i>Bolsas plásticas</i>	11,7 %
<i>Tapitas plásticas</i>	5,1 %

**Fuente: Fundación Vida Silvestre Argentina**

Estos datos locales, son simplemente indicativos de la problemática que representa el impacto de estos residuos en los océanos, el efecto real es el que sufre la fauna marina (peces, aves, mamíferos, etc.), debido a la ingestión, generando obstrucciones intestinales y disminución de apetito y de hormonas reproductivas, o bien por enredos, que pueden producir amputaciones, y la propia muerte.

El propio censo, estableció que los mayores reportes de interacción con plásticos corresponden a las aves (67,5 %), tortugas marinas (20 %) y mamíferos marinos (12,5 %).

Información local, producida por la Fundación Mundo Marino, indica que el 97 % de las tortugas marinas atendidas tienen plásticos en el estómago o en el intestino.

La mayor preocupación es la generación de microplásticos (fracción < 5 mm.) y nanoplásticos (fracción < 1µm), producto de la fabricación de plásticos, de procesos de degradación, erosivos, destructivos mecánicamente, o por acción biológica.

Las partículas plásticas más pequeñas, son transportadas por el aire y el agua a miles de kilómetros, encontrándose en los lugares más remotos, como por ejemplo en la Antártida, posiblemente por las corrientes de aire atmosférico. Estas partículas, según numerosos estudios científicos, tienen una masiva distribución en todos los ambientes, encontrándose en numerosos alimentos y el agua, lo cual pone en riesgo la salud humana por su bioacumulación, producto de la inhalación directa o la ingesta de alimentos.

Este es verdaderamente la problemática más acuciante, el plástico que no se ve, el cual está presente en toda la cadena trófica, que además de afectar a la fauna y al ambiente en general, pone en riesgo la salud humana. Justamente, debemos internalizar como sociedad internacional o por lo menos regional, la adopción de acciones concretas, para estudiar, evaluar, minimizar y evitar que estos procesos

generadores de micro y nanoplásticos continúen incrementándose. Es cierto, que la problemática es abordada y analizada por numerosas instituciones científicas, académicas y ONG's nacionales e internacionales, pero es el estado el que debe involucrarse, generando normas, políticas y programas específicos, que involucren a organismos científicos y de la comunidad, en pos de ampliar el conocimiento para la toma de decisiones.

#### **4.4 Panorama global y nacional en cuanto a porcentajes de reciclado y tendencias. Cantidades de RPL con destino final en vertederos. Objetivos para una gestión adecuada.**

Numerosas instituciones y organizaciones en el mundo, recogen información sobre la generación de residuos de diferentes tipos, y muchos en referencia a los plásticos en particular, como ya mencionamos en éste capítulo, también en Argentina existen este tipo de organizaciones, vinculadas a Asociaciones Civiles sin fines de lucro, Cámaras de la industria de la producción de Plásticos y Cámaras de Reciclaje de Plásticos, como así también unidades académicas de universidades públicas y privadas, y organismos de investigación. No obstante, la información suministrada, es parcial, a veces genérica, y no contempla la globalidad de la gestión de este tipo de residuos, en el marco de un Programa preestablecido.

Si bien hay una tendencia mundial, a incrementar los porcentajes de reciclado de plásticos año a año, no parecería que la tendencia a disminuir la producción, rediseñar sus propiedades para facilitar su reuso o reciclaje, reemplazo por materiales más amigables con el ambiente, este ocurriendo generalizadamente, por el contrario, estaría aumentando la producción, aun cuando el 90 % de los plásticos producidos provienen de combustibles fósiles.

En Europa, donde se mejoran los procesos y volúmenes de plásticos reciclados, aún el 25% de estos desechos son arrojados a rellenos sanitarios. Fuente: National Geographic España. Solo el 30 % de la producción de plásticos en España (4to. productor de UE) son reciclados. Fuente: Greenpeace. Datos estos, que desmejoran notablemente en los países asiáticos, África, India y países Latinoamericanos.

En Argentina, si bien los datos son incompletos y parciales, se estima que solo se reciclan entre el 9 y el 14 % de los plásticos desechados. En virtud, que muy poco se utiliza en procesos de incineración para generación de energía, (a excepción de aquellos que son destruidos en tratamientos térmicos como Residuos Especiales o bien como Residuos Patogénicos), los restantes son dispuestos en Rellenos Sanitarios, o bien en Basurales a Cielo Abierto (BCA).

Es importante destacar, que en la Argentina existen aproximadamente 5000 BCA (fuente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), de los cuales la mitad se encuentran en la Provincia de Buenos Aires (PBA).

Tal panorama, no permite establecer estadísticas confiables de la producción nacional de plásticos y de qué tipo, como tampoco los producidos en el extranjero e importados a la Argentina, como productos directamente de consumo o como piezas integrantes de artículos nacionales.

En virtud, del estado de situación que se encuentra la gestión de los residuos plásticos, como de tantos otros, es necesario un ordenamiento programado y paulatino, que contemple a todos los sectores involucrados, públicos (legislatura nacional y provinciales, municipios, organismos técnicos específicos del ejecutivo, de organismos científico-tecnológicos) y privados (usuarios, cámaras empresarias sectoriales, cooperativas de recolectores urbanos, ONG's, etc.). A modo de contribución, se enumerarán un conjunto de acciones indispensables entre otras tantas, para poder generar un sistema de gestión sustentable, con un fuerte involucramiento de todos los actores, pero específicamente del sector público, a saber:

- Generar una Ley de Presupuestos Mínimos (LPM), donde se definan las pautas esenciales de un sistema de gestión integral de Plásticos, la cual debe contener como mínimo lo siguiente:
  - Definiciones básicas de los tipos de plásticos, su capacidad de reciclaje, su peligrosidad y sus posibles usos. Un capítulo aparte debe destinarse a los micro y nano plásticos.
  - Contemplar mecanismos de financiamiento del sistema, mediante una regulación de la actual clandestinidad impositiva.
  - Especialmente contemplar la actividad de los recuperadores urbanos, y su organización en empresas cooperativas, auditadas por el propio estado.
  - Establecer las responsabilidades que le caben a cada uno de los actores del sistema a implementar, tanto del sector público como el privado.
  - Incorporar el criterio de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), definición y alcances.
  - Nominar a la máxima Autoridad Ambiental Nacional en la materia, con el fin de: Coordinar acciones con las Provincias, a través del Consejo Federal del Medio Ambiente (COFEMA), para la aplicación de la norma en la totalidad del territorio; supervisar el desarrollo del sistema de gestión; generar estadísticas de los plásticos producidos e importados, definiendo sus tipos, volúmenes, etc. y de los destinos de los desechos de estos residuos, con información propia o que le informen las distintas jurisdicciones u organizaciones privadas confiables; buscar financiamiento internacional, para apoyar a los municipios o las provincias para adquirir equipamiento y capacitación, principalmente para las etapas de recolección en origen y segregación; apoyo técnico a las distintas jurisdicciones en la implementación del sistema y optimización del mismo, etc.
  - Prohibir o limitar la producción y comercialización de los plásticos de un solo uso, consensuando plazos con los sectores involucrados.

- Generar incentivos para los distintos actores multiplicadores de acciones ejemplares o novedosas dentro del sistema, que impliquen un mejoramiento significativo de la gestión.
- Establecer programas comunitarios con los usuarios residenciales, para la mejora de su entorno inmediato.
- Definir una política de estado, donde se promueva el conocimiento y el comportamiento social en todos los niveles educativos; la difusión pública de los beneficios a la sociedad del compromiso individual y colectivo de los usuarios; generar programas de desarrollo tecnológico e involucramiento en el sistema de gestión en organismos específicos (INTI; INTA, etc.); priorizar la investigación científica sobre micro y nanoplásticos; controlar el desarrollo y cumplimiento de la LPM, a través de sus órganos específicos (Aduanas, AFIP, Autoridades Ambientales, etc.); articular entendimientos entre los sectores privados involucrados; propiciar el alineamiento de las provincias y los municipios; etc.
- Apoyo técnico y financiero a los organismos de control nacionales y provinciales que lo ameriten, como así también captar fondos internacionales para compra de equipamiento para los municipios que implementen un sistema de gestión, dentro de la LPM y que demuestren la eficiencia de su implementación.
- Generar en las distintas jurisdicciones, organismos consultivos ad honorem, conformados por los principales actores del sistema, para que sean partícipes, aportando conocimiento sectorial a las distintas autoridades, especialmente municipales y provinciales.

Sería interminable enumerar la totalidad de acciones a desarrollar, para alcanzar un manejo adecuado de los desechos plásticos que se generan y que tantas consecuencias negativas ocasionan al ambiente en general y a la salud de la población en particular. Si bien, son numerosos los trabajos de investigación que se desarrollan en todo el mundo, incluido en nuestro país, no es suficiente, principalmente por la falta de involucramiento del estado en su conjunto, que es quien debe generar las políticas, establecer las normas, dinamizar las instituciones de implementación y control, y registrar los indicadores de la gestión, para su realimentación.

#### 4.5 Referencias bibliográficas

Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2019. Libro “Los Residuos que generamos. Su manejo sustentable, un gran desafío”.

Assamoi, B. y Lawryshyn, Y., 2012. “The environmental comparison of landfilling vs. Incineration of MSW accounting for waste diversion”. Waste Management 32, 1019-1030.

Berman, W.D.y Paladino, J.J. 2018. “Evaluación Ambiental de la Termovalorización de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Más interrogantes que certezas”. Consejo

Federal del Medio Ambiente (COFEMA), Comisión Nacional de Residuos. II Jornadas de Trabajo de la Comisión Nacional de Residuos, CABA.

Berman, W.D. y Paladino, J.J. 2018. Informe Técnico: "Tratamiento y Disposición Final de los RSU en La Provincia de Buenos Aires. Aportes a la Economía Circular". Presentado a la Gobernadora María Eugenia Vidal, en abril de 2018.

CEAMSE, 2015. Facultad de Ingeniería, Instituto de Ingeniería Sanitaria, "Estudio de calidad de los RSU de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Informe Final".

CEM, Centro de Estudios Metropolitanos, 2017. "Radiografía de la Gestión de Residuos en el AMBA".

CEM, Centro de Estudios Metropolitanos, 2017. "Nuevos Escenarios Para La Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos en el Área Metropolitana.

De Luca M y Giorgi, N., 2015. "Estudio de estrategia y factibilidad de la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) para la República Argentina". Cámara Argentina de la Construcción.

European Commission, 2017. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions "The role of waste-to-energy in the circular economy". Bruselas COM (2017) 34 final.

Garriga, M..2008. "¿Qué hacer con la basura en el Área Metropolitana de Buenos Aires? Un análisis de los Incentivos Económicos", Anales de la Asociación Argentina de Economía Política, XLIII. Reunión Anual.

Jeswani, H. K.; Azapagic, A., 2016. "Evaluación de la sostenibilidad ambiental de la recuperación de energía a partir de residuos sólidos urbanos en el Reino Unido". Autores. Publicado: Waste Management. Volume 50, Pages 346–363. Reino Unido.

PNUD (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente), 2018. "Perspectiva Regional de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Presidencia de la Nación, 2017. "Informe del Estado del Ambiente".

The World Bank, 2015. "Diagnóstico de la Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos en la Argentina. Recopilación, generación y análisis de datos – Recolección, barrido, transferencia, tratamiento y disposición final".

United Nations Environment Programme, ONU Medio Ambiente, 2018. "Perspectiva de Residuos en América Latina y el Caribe".

Zaritzky, N. Nudelman, N. 2020. "Gestión de los Residuos Plásticos. Una preocupación Global". Instituto del Ambiente, Academia Nacional de Ingeniería.

## Microplásticos

**Dra. Norma Sbarbati Nudelman**

### 5.1 Definiciones y origen

Debido a que la mayor parte de la contaminación por residuos plásticos (estimada en aproximadamente 13 MTn/año (Foerster, 2017) se produce por arrastre en los ríos y llega a los océanos, desde hace muchos años se ha alertado a la sociedad por los daños que produce la “basura plástica” en aves, peces, reptiles y mamíferos que pueden enredarse o ingerir las partículas plásticas de un tamaño superior a 5 mm (llamadas meso- y macroplásticos, que representan la fracción más significativa en términos de peso (Liro et al., 2020). Un aspecto más reciente de los estudios científicos en todo el mundo se ha focalizado en partículas de microplásticos, MPs y de nanoplásticos NPs (Andrady, 2017, Bletter et al, 2021), especialmente por sus posibles efectos en la salud humana. Sin embargo, esta clasificación entre MPs and NPs no está aún formalmente reconocida y no ha sido absolutamente aceptada todavía como se aprecia en la literatura reciente.

Una de las clasificaciones indica que los macroplásticos miden más de 25 mm, los mesoplásticos entre 5 y 25 mm y los microplásticos menos de 5 mm. Existen estudios que clasifican los microplásticos con tamaños entre 0,1 a 100  $\mu\text{m}$ , y a los nanoplásticos con tamaños entre 1 a 100 nm (0,001 a 0,1  $\mu\text{m}$ ). Sin embargo otros trabajos indican que los macroplásticos son partículas con tamaño superiores a 5mm, los microplásticos tienen tamaños entre 1 $\mu\text{m}$  y 5 mm y los nanoplásticos presentan tamaños inferiores a 1 $\mu\text{m}$

Los MPs se clasifican como primarios cuando ingresan al ambiente directamente como micropartículas plásticas, éstas se utilizan en el mercado especialmente en productos de cosmética y de higiene personal, recientemente se ha restringido su uso como consecuencia de los estudios que han demostrado su incidencia en la salud humana y el ambiente. No obstante, la inmensa mayoría son MPs secundarios, que son aquellos generados a partir de la “basura plástica”, aunque esta afirmación es dependiente de la clasificación que se adopte, dado que las fibras son clasificadas como microplásticos secundarios según algunos autores (Dris 2015) pero como primarios según otros (Cole 2013). Se debe prestar especial atención a la ropa sintética, que es una importante fuente de fibras y generan grandes cantidades de microplásticos (secundarios, según Dris 2015) a través del lavado. El tamaño, forma, superficie y

cantidad de los MPs secundarios es muy difícil de evaluar, y sus mecanismos de formación son todavía desconocidos (Andrady 2017).

Como se mencionó, las partículas plásticas, cuyo tamaño oscila entre 5 mm y 2,5 cm, se denominan mesoplásticos. En particular, los productos de poliestireno expandido (usados como recipientes y bandejas para llevar comidas, vasos descartables, protectores de empaques, etc.) están registrados como uno de los principales residuos recuperados de costas marinas y playas fluviales en todo el mundo (Bletter 2019, Mitchell 2020). Como estos materiales son muy frágiles, se fragmentan fácilmente dando lugar rápidamente a mesoplásticos, informados en grandes cantidades en costas y cursos de agua.

¿Cómo se originan los MPs? Los meso- y particularmente los macroplásticos son importantes fuentes secundarias de microplásticos debido a los procesos de degradación / fragmentación (Gerritse et al, 2020; Thiel, 2018; Bletter, 2019). El impacto ambiental de los macroplásticos puede al menos ser mitigado a través de campañas de recolección y limpieza de ambientes naturales. Si bien esta medida tan solo tiende a reducir en parte los niveles de contaminación sin solucionar el problema de fondo (los altos niveles de producción y consumo de plástico, así como la mala disposición de los residuos que generan), aun no existen técnicas efectivas, eficientes y de bajo costo, para remover los MP del ambiente natural (Lucrezi 2020)

Una vez que los residuos plásticos, en su forma original de macroplásticos, llegan a los distintos ambientes naturales (ríos, playas, mar, etc.), comienza el fenómeno de su meteorización o fragmentación. La meteorización de los polímeros es comúnmente causada por fotooxidación (radiación solar, principalmente UV-B), oxidación fototérmica, abrasión mecánica (dada por viento, corrientes y olas sobre la arena o rocas), hidrólisis y biodegradación. Las reacciones fotoquímicas causadas por la absorción de la radiación U.V. inducen la oxidación, lo que hace que los plásticos sean frágiles y fáciles de romperse. Debido a la mayor disponibilidad de radiación UV y oxígeno y una mayor exposición, la degradación fotooxidativa y fototérmica puede tener mayores efectos en los plásticos depositados en las playas que en la superficie del agua y suelo.

Si bien se han realizado algunos trabajos teóricos y experimentales en laboratorio, describiendo el transporte de los microplásticos en ríos (Ockelford, 2020), los estudios del transporte son aún muy escasos y la mayoría son meramente empíricos. Debido a que los macroplásticos se fabrican en formas y tamaños muy disímiles y los polímeros comerciales más habituales poseen variada densidad, éstos se pueden transportar en ambientes fluviales de diferentes maneras. Pueden transportarse: a) flotando en la superficie, b) dentro de la columna de agua, o c) como parte de la carga de lavado del lecho, según cual sea la forma de transporte que predomine éste tiene importancia en los procesos de degradación, abrasión y fragmentación que van a dar lugar a MPs. (Castro-Jimenez, 2019)

## 5.2 Tecnologías de detección y análisis

Debido a su pequeño tamaño, y su compleja y diversa constitución química la detección de los MPs y NPs es muy difícil, no obstante, el creciente conocimiento de

su peligrosidad motiva que se registre intensa actividad en la búsqueda de metodologías cada vez más precisas y sofisticadas.

Diversos protocolos se han desarrollado para caracterizar el tamaño, número y constitución química de muestras de partículas plásticas, y para el análisis cuali y cuantitativo de MPs. (Araujo et al, 2018; Silva et al 2018), de todos modos, se estima que todavía faltan mayores precisiones metodológicas (Schaferts et al, 2019; Strungaru et al, 2019).

Dado que se capturan partículas de todo tipo, deben tratarse para separar los MPs y NPs de las provenientes de maderas, metales, materia inorgánica como arcillas, materia orgánica coloidal, etc.; en esta etapa, se utilizan comúnmente técnicas de microscopía óptica, pero suele ocurrir una subestimación (Strungaru et al, 2019). Otras metodologías utilizan microscopía electrónica de barrido (SEM); infrarrojo con transformada de Fourier (FT-IT); micro-FTIR; cromatografía gaseosa-espectrometría de masa (GC-MS); espectroscopía Raman y micro-Raman, y DLS, entre otras. (Strungaru et al, 2019; Silva et al 2018).

Cabe mencionar, que la mayoría de los métodos espectroscópicos y ópticos de barrido son muy sensibles a impurezas y muchas veces las muestras deben someterse a tratamientos previos para remover tales impurezas y permitir una detección más precisa (Wang and Wang, 2018). No obstante, el análisis de los NPs está todavía muy limitado por la resolución de tamaños micrométricos de la mayoría de las técnicas analíticas disponibles.

En particular en Argentina, se han analizado MPs en algunas muestras recolectadas en las playas de Rosario, se estudiaron con un espectrómetro infrarrojo obteniendo como resultado una forma oxidada de polietileno (Mitchell 2020). Este resultado es interesante porque el polietileno es uno de los plásticos más utilizados a nivel mundial y también el más encontrado en muchos otros estudios, pero también porque la oxidación provoca la fragmentación del material generando aún más MPs en el ambiente (Geyer et al, 2017).

Microplásticos de origen primario como micro perlas o pellets (utilizados en cosméticos y productos de cuidado personal, depuradores industriales utilizados para limpieza, gránulos vírgenes utilizados por la industria en procesos de fabricación de artículos plásticos, etc) no han sido registrados en riberas argentinas. No obstante, se observó una gran presencia de microperlas y otros microplásticos primarios en ríos de Alemania, Estados Unidos y Canadá. Las pérdidas de microplásticos primarios pueden ocurrir durante las etapas de producción, transporte o reciclaje de plásticos, o durante la fase de uso de productos que contienen microplásticos (por ejemplo, microperlas originadas de limpiadores faciales) y están asociadas a desarrollos industriales avanzados. Esto contrasta con los microplásticos secundarios, que se originan principalmente a partir de la fragmentación en ambientes naturales de residuos mal gestionados (macroplásticos).

### 5.3 Un desafío adicional: los aditivos químicos

En el proceso de manufactura de un polímero se usan productos químicos, como iniciadores, catalizadores y solventes, pero además se añaden otros como aditivos: retardantes de llama, colorantes, pigmentos, etc. y otros para procurar características especiales: inhibir la fotodegradación, aumentar la fuerza, la rigidez o la flexibilidad, etc. Estos compuestos no están unidos a la matriz polimérica, usualmente son de bajo peso molecular, y se liberan fácilmente al ambiente, incluyendo el aire, agua, alimentos o tejidos del cuerpo (Zaritzky, 2020).

Un análisis global de toda la masa de plásticos que se produce en el mundo (excluyendo las fibras), muestra que contiene, en promedio, 93% de resina polimérica y un 7% de aditivos. PVC constituye el plástico con mayor variedad de aditivos, incluyen estabilizadores al calor para hacerlo más estable, y plastificantes, tales como ftalatos, para procurarle mayor flexibilidad. PP es muy sensible a la oxidación, y por lo tanto se le añaden antioxidantes y estabilizantes UV. El bisfenol A (BPA) es el monómero utilizado para la fabricación del policarbonato, pero también se usa como un aditivo estabilizador en otros polímeros. De los 6.000 millones de toneladas de residuos plásticos solo el 9% han sido recicladas, un 12% incineradas y el resto, casi el 80% se acumula en el ambiente.

Algunos de los factores que influyen en la tasa de migración son la concentración inicial del aditivo presente en el plástico, el espesor, la cristalinidad y la estructura de la superficie del plástico. Como ejemplos de estas migraciones y liberaciones de aditivos plásticos se puede citar a las parafinas cloradas de cadena corta, que son aditivos plastificantes de juguetes de policloruro de vinilo, cortinas de ducha, etc. (Yuan et al. 2017). Es muy reciente la preocupación mundial por los aditivos químicos y su posible liberación desde productos plásticos al ambiente, entre ellos se incluyen a: los retardantes de llama bromados, los ftalatos, BPA, bisfenol-A dimetacrilato, plomo, estaño y cadmio formaldehído y acetaldehído, 4-nonilfenol, metil terc-butil éter, benceno y como así también a muchos otros compuestos orgánicos volátiles. Varios estudios informan que las concentraciones liberadas son inferiores a los límites máximos establecidos, y no consideran la toxicidad de las mezclas de los aditivos (Lau 2020, Gallisti 2017).

Los envases descartables para alimentos y bebidas constituyen uno de los problemas más acuciantes, porque se usan una sola vez. Muchos de los productos químicos migran hacia el contenido, por lo que están considerados como la mayor fuente de exposición humana a la contaminación ocasionada por los plásticos y los MP en particular.

Entre las sustancias utilizadas como aditivos o monómeros en plásticos de un solo uso, se incluyen: BPA, (migra de envases de policarbonato para botellas de agua, o de latas recubiertas con resinas epoxi); ftalatos (diisononilftalato(DiNP) y DEPH, usados como plastificantes (se producen en alto volumen); di(2-etilhexil)adipato (DEHA, carcinogénico, usado como plastificante en envoltorio para carnes); 4-nonilfenol (producto de degradación del antioxidante fosfito de tris(nonil-fenol) (TNPP), usado en envoltorios para comidas); los productos per- y polifluoralquilos (PFAS, muy utilizados,

entre otras cosas, para procurar una barrera a la grasa en envoltorios para comida rápida). (IPEN 2020). Estas sustancias son de menor peso molecular que los polímeros que constituyen el plástico, se fragmentan más rápidamente, suelen estar adheridos a los MP, se encuentran en baja concentración y su detección es mucho más difícil

La base de datos de la industria americana del envase contiene más de 4000 compuestos posiblemente asociados con envases plásticos de los cuales 148 se ha probado que son altamente dañinos para la salud humana. En la Unión Europea, los productores de envases para comida deben garantizar la inocuidad de sus productos ya sea de compuestos químicos añadidos, o de impurezas, o de posibles compuestos que podrían migrar. (European Commission 2018)

#### 5.4 Microplásticos en espejos de agua dulce

Si bien la mayor cantidad de publicaciones sobre contaminación por MP sigue siendo en el área de mares y océanos, recientemente, se ha publicado un muy detallado review sobre ocurrencia, detección, análisis, impacto y control de MP en espejos de agua dulce (lagos, ríos, lagunas, etc) y sus entornos, (costas, playas, etc) (Gupta, 2022).

También cabe mencionar el reciente hallazgo de MP en suelos dedicados a la agricultura, probablemente debido a la creciente utilización de fitosanitarios, fertilizantes, herbicidas y otros agroquímicos que se comercializan en envases de plástico. Por otro lado, la recolección de cereales y su almacenamiento en silo bolsas que se dejan varios meses en tierras de cultivo, favorece la fragmentación de los materiales de empaque, su transporte aéreo y, muchas veces, su destino final en las costas de arroyos y ríos aledaños. (Tien, 2022).

En los países menos desarrollados, una fuente adicional está relacionada con la mala gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU), lo que constituye un problema ambiental clave relacionado con la contaminación de hidrosistemas urbanos a escala local y global, sin procesamiento alguno de la basura. Como resultado, se produce una creciente contaminación por plásticos, particularmente en los sistemas de agua dulce. Más del 90% de los residuos domiciliarios en los países de bajos ingresos se arrojan en vertederos a cielo abierto y sin procesamiento previo.

En Argentina, el aumento de la población y de los niveles de consumo han acelerado enormemente la tasa de generación de residuos (1,14 kg per cápita por día). Según la Dirección Nacional de Gestión Integral de Residuos, se generan 16,5 millones de toneladas de residuos anuales, de las cuales 15% es plástico. Como resultado, Argentina produce unos 2,5 millones de toneladas de residuos plásticos por año. La mayoría de los macroplásticos registrados en los ríos son plásticos flexibles, como bolsas tipo “camiseta” (polietileno, PE, de alta y baja densidad), empaques de alimentos (polipropileno, PP; poliestireno, PES), botellas de bebidas (tereftalato de polietileno, PET), envases de productos de cuidado personal y de limpieza (polietileno de alta densidad y tereftalato de polietileno), bandejas y fragmentos de Telgopor (retroacrónimo de “tela de goma porosa” o poliestireno expandido).

Así, se han detectado MP en varios lagos y ríos, especialmente en las áreas de mayor contaminación como es en la desembocadura de ríos urbanos. A modo de ejemplo, puede mencionarse que en el río Paraná se ha encontrado un promedio aproximado de 5200 microplásticos  $m^{-2}$  (rango de tamaño: 0,35-5 mm); así, en los sedimentos de las márgenes del río Paraná (en cercanías de la ciudad homónima), van desde solo 75 hasta un máximo de 34400 microplásticos  $m^{-2}$  en las áreas de mayor contaminación. (Blettler et al. 2019). Se ha registrado una media de 18500 microplásticos  $m^{-2}$  en las playas cercanas a la Ciudad de Rosario (Mitchell et al. 2020). Mientras tanto, en un estudio similar pero realizado en la laguna Setúbal, se registró un promedio significativamente menor, de sólo unos 700 MPs. (Blettler et al. 2017)

## 5.5 Microplásticos en el agua para consumo humano

Investigadores de la Universidad del Estado de New York analizaron 159 muestras de agua de grifo de 14 países, mitad países desarrollados y mitad en vías de desarrollo. El 81% de las muestras tenían de 0 a 61% de microplásticos/litro. Las muestras provenientes de los EEUU fueron las que tenían el valor más alto (en promedio 9.24 partículas/litro), mientras que las naciones de la UE mostraban 4 de los valores más bajos. Curiosamente, el agua proveniente de los países desarrollados tenía una mayor densidad de partículas/litro (6.85), mientras que los países en desarrollo mostraban una menor densidad (4.26). El 99% de las partículas encontradas eran fibras. (European Commission 2018)

Orb Media realizó luego un estudio semejante de agua envasada con los mismos investigadores. Se analizaron 259 botellas provenientes de 11 marcas líderes de 19 lugares. Se encontraron MP en el 93% de las botellas, con un promedio de 325 partículas/litro. El plástico identificado en el agua envasada incluyó polipropileno, nylon y PET. El estudio reveló una densidad promedio de 10.4 partículas/litro, aproximadamente el doble del encontrado en agua de grifo. Llamativamente, el agua conocida como Nestlé Pure Life Water tenía la más alta densidad de MP, un promedio de 2.247 partículas/litro, mientras que una botella de agua de Nueva Delhi (India) contenía la menor densidad de MP, un promedio de 3,72 partículas/litro. (Schlumer 2016)

La noción de que el plástico proveniente del propio envase del agua podría contribuir a los MP encontrados, fue confirmada por un estudio realizado en Alemania en 2018, con agua envasada en botellas de plástico, de vidrio y de cartón, en todas se encontraron MP. Analizaron agua de 22 diferentes envases plásticos: retornable y de uso descartable, 3 cartones y 9 botellas de vidrio. Utilizaron espectroscopía Raman que es capaz de detectar partículas muy pequeñas, observaron que el 80% de todos los MP tenían un tamaño promedio de 5-20 micrones, y por lo tanto no eran detectables por las técnicas usadas en los estudios anteriores. Los mayores niveles se determinaron en las botellas de plástico retornables (718+88 partículas/litro), en las botellas de plástico descartables fue menor (14+14), también en los envases de cartón (11+ 8) y en las botellas de vidrio (50+52 partículas/litro). La mayor parte de MP en las botellas retornables fueron poliésteres (mayormente PET, 84%, y PP 7%). Esto no sorprende dado que las botellas están fabricadas con PET y las tapas con PP. La Asociación de Plásticos recicladores de los EEUU ha tomado interesantes iniciativas

sobre el tema de las botellas de envases plásticos en desuso (American Chemical Society 2018).

## 5.6 MPS en aguas cloacales

Estudios recientes han demostrado la presencia de fibras y otros MPs y NPs de origen secundario en aguas cloacales (Enfrin 2019), y pone de manifiesto la necesidad de tenerlos en cuenta al evaluar posibles métodos de tratamiento de líquidos cloacales. Los procesos de tratamientos se han diseñado para remover impurezas tales como arcillas, metales o astillas de madera, pero ellos no son adecuados para remover MPs y NPs.

Se ha detectado la presencia de MPs y NPs en efluentes cloacales con tamaños que van de 20 a 1000  $\mu\text{m}$  y en cantidades que varían entre  $9.3 \times 10^5$  a  $4.0 \times 10^9$  lo que representa, aproximadamente, 200 botellas PET de agua mineral. (Mintening et al 2017; Enfrin et al. 2019). Esto demuestra que los MPs ya estaban en la corriente de aguas cloacales, antes de ser arrojados en los efluentes municipales o en los ríos. Estudios recientes demuestran que hasta un 45% de MPs de tamaños entre 100 a 5000  $\mu\text{m}$  pudieron ser removidos por tratamientos primarios en varias aguas cloacales (Dris et al 2018; Sun et al 2019).

Además, debe tenerse presente que pueden ocurrir interacciones tales como fragmentación de las partículas y deficiencia en el proceso de tratamiento debido a interacciones físico-químicas con la superficie de dichas partículas. Por otro lado, también pueden ocurrir interacciones homogéneas y heterogéneas con otros tipos de partículas que atenten contra la eficiencia de los diversos procesos de filtración por membranas, por lo que se ha sugerido la necesidad de su remoción previa.

Diversos pre-tratamientos han sido indicados para limitar la presencia de MPs. Entre ellos pueden mencionarse la separación por densidad. Dado que la mayoría de los MPs están constituidos por PE, PP y PES, cuya densidad es semejante a la del agua, la adición de sales, por ej NaCl o NaI, aumentará la densidad a 1.2 g/cm<sup>3</sup> y 1.8g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, de modo que las partículas los MPs y NPs flotarán, aún las más pesadas como PET. De todos modos, el proceso de sacar luego las sales agregadas, añade un costo adicional que requiere estimarse, según sea el caso.

La coagulación es otra solución para reducir el número de MPs y NPs, usando agentes que puedan formar estructuras más estables, para separarlas luego por skimming o decantación, sin que se rompan. Para la electrocoagulación de partículas de PE se han usado cationes de Fe y de Al (Perren et al 2018), si a los mismos agentes se añade PAM (polihidrixiacrilamida) como surfactante mejora mucho su eficiencia (Ma et al 2019).

Otra forma de limitar la interacción de MPs con las membranas de filtración es la biodegradación previa, con los agentes que se mencionan más adelante. No obstante, parámetros ambientales tales como la composición de las aguas cloacales, la temperatura, el tipo de plástico y la disponibilidad y concentración de las bacterias pueden limitar y lentificar el proceso de biodegradación. De modo que mayores

estudios son necesarios para poder encontrar los pre-tratamientos más adecuados para poder asegurar la calidad obtenida en este tipo de efluentes.

Muchas ciudades ubicadas a la vera de ríos y costas no realizan tratamiento de sus efluentes cloacales. Sin embargo, estudios recientes muestran que estos efluentes son una importante fuente de contaminación por MPs (Rolsky 2020). La mayor preocupación relativa al impacto sobre los procesos de tratamiento de efluentes cloacales es la falta de conocimiento sobre el tamaño, concentración y propiedades de los MPs y NPs (Ogonowski et al. 2018, Anad et al 2018).

## 5.7 MPS en la alimentación y en la salud humana

Diversos estudios alertan sobre la contaminación de alimentos que nada tienen que ver con los océanos, como el agua de manantial contaminada a través de su envasado. Recientemente, la Organización de Consumidores y Usuarios (OCU) analizó 102 alimentos de origen marino, descubriendo la presencia de MP en el 69% de ellos. Un estudio de la Universidad de Heriot Watt (Parker 2018) afirmó que en cada plato de comida podría haber hasta 100 fibras de plástico procedentes del ambiente y los objetos que nos rodean, sumándose al que nos llega de los océanos. Siguen algunos ejemplos.

La sal de mesa. Hace años que se tiene constancia de la presencia de contaminación plástica en la sal, pero no se tenía información sobre que su alcance llegaba al 100%. En la isla Madura (Indonesia) se produce sal evaporando agua de mar, los estudios recientes demostraron que la sal elaborada en esa región tiene uno de los mayores contenidos de MP de las sales muestreadas. De 60 a 280 micropartículas por kilo de sal fueron descubiertas en todos los tipos de sal estudiados por la Universidad de Alicante, lo que quiere decir que cada español ingiere al año 510 micropartículas de plástico tan solo por sazonar sus alimentos. Por otro lado, a nivel mundial, investigadores de Corea del Sur y Greenpeace East Asia descubrieron plástico en un 90% de las marcas analizadas. La llamada “flor de sal”, un alimento gourmet que cristaliza en la superficie de las salinas presentó una mayor concentración de este material, lo que según la OCU podría ser debido a su estructura escamosa o a una mayor contaminación ambiental.

Ingesta de organismos marinos con MP. Se ha comprobado que en la ingesta de distintos peces y mariscos, también se ingieren cantidades variables de MP según la naturaleza del organismo ingerido. A saber: mejillones, almejas o chirlas. La OCU descubrió microfibras y, en menor medida, microgránulos y microfilms en el 71% de los moluscos que analizó en un reciente estudio, a pesar de que estos animales deben someterse a un proceso de depuración tras su recogida. La OCU alerta de que, además, el hecho de que los moluscos como los mejillones, almejas o chirlas se coman al completo fomenta que toda la cantidad de MP que se haya acumulado en ellos termine en nuestro tracto digestivo.

Gambas y otros mariscos. Un 66% de los crustáceos analizados por la OCU contenían MP, sin detectar diferencias entre langostas, langostinos y gambas, tipos de envase o

estado en el que se compraron (frescos o congelados). A diferencia de los anteriores, el estudio sí descubrió una menor acumulación de MP entre los que se comercializan pelados, sin cáscara ni tracto digestivo.

Pescado como sardinas o bacalao. A pesar de la dificultad de llevar a cabo estudios cuantitativos para monitorizar el número de MP en el intestino del pescado, un estudio portugués halló MP en el 19,8% de 263 pescados de 26 especies comerciales. Otra muestra de campo obtenida mediante arrastre presentó polímeros sintéticos en un 36,5% del pescado capturado en el canal de la Mancha.

Como es esperable, varios estudios de los MP ingeridos por peces y mariscos en distintos lugares del mundo en los que ha podido diferenciarse la naturaleza de los polímeros constitutivos, se han registrado mayor número de fibras en comparación con otros tipos de polímeros.

Langostinos. Estudios recientes han detectado la presencia de MP en langostinos aún muy pequeños. Muy probablemente, los ingieren confundidos con comida. Dichos estudios, han demostrado, además, que la presencia de MP representa también la contaminación con virus en las larvas que atentan contra su reproducción. (Runwal, 2023)

**MP en la salud humana.** Aún hay muchas preguntas sin resolver acerca de si estas partículas podrían incluso llegar al torrente sanguíneo o descargar otras toxinas en nuestro cuerpo. El tamaño de las microfibras, que podrían alcanzar la escala nanométrica, les permitiría entrar en las células o trasladar sustancias tóxicas o microorganismos patógenos.

La calidad del aire que respiramos es permanentemente monitoreada, tanto del aire exterior, como dentro de edificios de oficinas, comercios, etc. En particular, con respecto a MP se analizan las concentraciones, características físicas, y, a veces también la naturaleza de los polímeros, para evaluar la exposición a través de la inhalación y sus posibles influencias. En un estudio muy reciente, se denuncia la detección de MP en límites mayores a la concentración promedio en el aire interior de un salón de manicuría. Los datos muestran que el polímero predominante era acrílico (27%), seguido por caucho (21%) y poliuretano (13%). El aire acondicionado, los productos usados en el tratamiento de uñas, y los materiales plásticos en el techo y piso, añadido al hecho de un mayor número de ocupantes, son los responsables de un mayor incremento de MP, con respecto a otros lugares interiores. (Chen 2022).

Recientemente se ha descubierto MPs en pulmones humanos, por técnica uFTIR E. Loh (Loh, 2022) de Monash Univ y la Univ of Melbourne (Australia), fundamentalmente polipropileno y PET. También hay reportes incipientes de detección de MP en sangre, aunque faltan investigaciones más precisas (Leslie y Lamoree, 2022). Las científicas encontraron partículas de MP en 17 de 22 muestras de sangre, las más comunes son de PET (tereftalato de polietileno), el plástico utilizado para las botellas de bebidas y los envases de alimentos. El equipo investigador desarrolló un método analítico para establecer el nivel de trazas de partículas micro y nanoplásticas en la sangre humana. El método se aplicó a la sangre de 22 donantes anónimos y se examinó para detectar la presencia de cinco polímeros diferentes, incluidos PET, polipropileno y poliestireno.

La concentración global de partículas de plástico en la sangre de los 22 donantes ascendía a una media de 1,6 microgramos por mililitro, lo que es comparable a una cucharadita de plástico en 1.000 litros de agua. También se determinó el grado de presencia de cada uno de los polímeros en la sangre. El doctor Dick Vethaak, coautor del estudio, reconoció que la investigación era un primer paso y debería ampliarse a una muestra más grande.

Finalmente, cabe mencionar que muy recientemente también se han detectado MP en la leche materna (Jaber, 2024). Investigadores del Instituto para Investigaciones sobre la Obesidad (TEC, Monterrey, Mexico), han detectado MP en 26 de 34 muestras de leche materna, y también en sus sustitutos conocidos como fórmula. Hasta ahora, se ha encontrado que estos contaminantes están más presentes en la leche de aquellas madres que viven en áreas altamente industrializadas o con una fuerte actividad agrícola y ganadera. La razón por la que son tan persistentes y pueden llegar tan lejos es por sus propiedades químicas, que evitan que se degraden fácilmente y propician que se acumulen, y por sus propiedades físicas, son tan pequeños que pueden ser transportados por el agua y el aire. Para alcanzar la leche materna, su ruta de entrada es principalmente la ingesta: en agua y/o en alimentos contaminados con MP o son inhalamos de aire contaminado. Los contaminantes que tienen propiedades químicas para solubilizarse en agua o grasa, se acumulan en los tejidos y órganos del cuerpo, alcanzando eventualmente el torrente sanguíneo. Los MP que no son solubles en grasa, probablemente se adhieren por su pequeño tamaño y son arrastrados físicamente.

El mecanismo exacto por el cual pasan de la sangre a la leche aún se desconoce. Su presencia en la fórmula probablemente se debe a que son producidas en establecimientos industriales que usan los plásticos indiscriminadamente. Esta incertidumbre se debe a que el problema de los MP que detectado recientemente y aún faltan protocolos de investigación estandarizados, así como evidencia sobre sus consecuencias en nuestra salud y la del medio ambiente. “El problema de los MP en la leche materna y la fórmula es muy reciente, aún no hemos podido descifrar cómo es que llegan ahí”, dice Cárdenas Tueme, investigadora del TEC (TecScience, 2024).

## 5.8 Biodegradación de microplásticos

La fragmentación de meso- y macroplásticos para generar MPs y NPs, es un proceso que ocurre por causas diversas como el transporte, la abrasión, etc de la “basura plástica” en tiempos variables dependiendo de muy diversos parámetros y condiciones, de todos modos, la mineralización completa de los materiales plásticos en costas, ríos y mares es un proceso que puede llevar varios siglos (Shrivastava 2018).

Entre los diversos métodos que se están utilizando, en el caso particular de los MPs merece especial mención el uso de agentes biológicos que usan los MPs como fuente de carbono para su crecimiento (Caruso 2015). Varios estudios han informado la biodegradación de micropartículas de PE, PP y PET (Auta et al 2018; Yoshida 2016; Caruso 2015). Se ha demostrado la tendencia de *Zalerium maritimum* para degradar partículas de PE, después de 14 días de exposición a este hongo el 43% del PE se

había degradado. Otro estudio demostró la utilidad de *Rhodococcus* para degradar el 6.4% de partículas de PP en 40 días (Auta et al 2018), y un tercero mostró la completa degradación de un film de PET en 6 semanas de exposición a *Ideonella sakaiensis* (Yoshida 2016).

Todavía se desconoce qué efectos pueden tener los MPs y NPs sobre los microorganismos que pueden ser utilizados para biodegradación, tales como bacterias.

Finalmente, cabe mencionar que estudios recientes parecen demostrar que la presencia de MP en la atmósfera promueve la formación de nubes (Vasquez 2023). Previamente se había sugerido que el pequeño tamaño y la forma generalmente esférica de los MPs los hace muy fácilmente susceptibles de ser transportados del aire a la atmósfera (Bourzac 2021). Como ya hemos discutido en puntos anteriores, se ha detectado su presencia en el aire de diversos sitios que llamamos “contaminados por MP” y más recientemente también en la atmósfera. Estudios de modelado parecen demostrar que ellos promueven la formación de nubes, cuyas consecuencias aún no han podido establecerse.

## 5.9 Estrategias

La estrategia de cambiar los plásticos de un solo uso por envases retornables o reutilizables no termina de arrancar; pese a que a veces se usan como sinónimos, no lo son. El envase reutilizable indica que el usuario puede darle más vidas. Sucede cuando reutilizamos la tarrina de un litro de helado como recipiente para guardar las alitas de pollo. El envase retornable vuelve al fabricante para volver a ser puesto en la circulación, a cambio de una bonificación para el consumidor. Este sistema ya se usa en Alemania, México o Chile y reduce mucho el volumen de plásticos que acaban en el contenedor. Implica acuerdos con los supermercados para que el usuario pueda depositar las botellas vacías o, en su caso, rellenarlas a un coste menor que si comprara de nuevo la botella.

A modo de ejemplo, el gigante de los refrescos, The Coca-Cola Company, pretende que en 2030 el 25% de sus referencias a nivel mundial se vendan en botellas de vidrio o plástico retornables. Incluso que se puedan rellenar con dispensadores especiales en el supermercado. En Francia han llegado a un acuerdo con Carrefour para implantar ese sistema, mientras que en Estados Unidos han firmado un acuerdo piloto con Burger King para que los clientes rellenen los vasos traídos de casa y no se gasten vasos nuevos.

Recolectar, reciclar, reusar. Para que el plástico no acabe en la tripa de una merluza no debería llegar al mar. Pero ha llegado y en cantidades, porque la Unión Europea, EEUU y Canadá exportan sus residuos plásticos a países del sudeste asiático, como Indonesia, Malasia, Tailandia o China (a partir del 2020, China decidió no recibirlos más). Esos países no gestionan bien los residuos y acababan en el mar, por lo que la UE prohibió a sus países miembros a partir del 1 de enero 2021, exportar su “basura plástica”.

La estrategia europea apuesta al reciclaje y la desaparición de los plásticos de un solo uso, y para el 2030 el 55% de los envases plásticos tendrá que ser reciclables o reutilizables. En España, se aplica un plus impositivo adicional por cada kilo de plástico nuevo que se use, y otros países miembros de la UE están adoptando medidas impositivas similares. En síntesis, la gran mayoría de los residuos registrados son utensilios y empaques de un solo uso (descartables), por lo que urge un cambio por parte de estas industrias y sus embalajes, así como de los hábitos de consumo.

## 5.10 Referencias bibliográficas

Abulyazied, D., El-Zaidia, E., 2018. Nanoindentation and optical properties of high-density poly(ethylene)/ZnO nanoparticles composites. *J. Ovonic Res.* 14 (5), 359e370.

American Chemical Council (ACC)- 2018 / The Association of Plastics Recyclers (APR)- “2018 United States national Postconsumer Plastic Bottle Recycling [www.americanchemistry.com](http://www.americanchemistry.com)

Anand, A., Unnikrishnan, B., Mao, J.-Y., Lin, H.-J., Huang, C.-C., 2018. Graphene-based nanofiltration membranes for improving salt rejection, water flux and antifouling. A review. *Desalination* 429, 119e133.

Araujo, C.F., Nolasco, M.M., Ribeiro, A.M.P., Ribeiro-Claro, P.J.A., 2018. Identification of microplastics using Raman spectroscopy: latest developments and future prospects. *Water Res.* 142, 426e440.

Auta, H.S., Emenike, C.U., Jayanthi, B., Fauziah, S.H., 2018. Growth kinetics and biodeterioration of polypropylene microplastics by *Bacillus* sp. and *Rhodo-* coccus sp. isolated from mangrove sediment. *Mar. Pollut. Bull.* 127, 15e21.

Behboudi, A., Jafarzadeh, Y., Yegani, R., 2018. Enhancement of antifouling and antibacterial properties of PVC hollow fiber ultrafiltration membranes using pristine and modified silver nanoparticles. *J. Environ. Chem. Eng.* 6 (548), 1764e1773.

Blettler M. C., Abrial, E., Mitchell C., Luis A. Espinola L.A. 2021, El derrotero de la basura plástica en el Paraná Medio, en Nudelman N. S. 2021

Blettler, M. C. M. , Abrial,E., Khan F., Sivri N., Espínola L. A. 2018, *Water Res.*143, 416.

Burzac K., 2021 *Chem & Eng. News*, April 15.

CIEL 2019 - Center for international Environmental Law- “Plastic and Health. The Hidden Costs of a Plastic Planet”-Febrero 2019 Report. [www.ciel.org/plasticandhealth](http://www.ciel.org/plasticandhealth)

Chen, E.-Y., Lin, K.T., Jung, C. C., Chang, C.L., Chen, C.Y. 2022. Characteristics and influencing factors of airborne microplastics in nail salons. *Science of the Total Environment*, June 2022.

Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Tassin, B., 2018. Synthetic and non-synthetic anthropogenic fibers in a river under the impact of Paris Megacity: sampling methodological aspects and flux estimations. *Sci. Total, Environ.* 618 (Suppl. C), 157-164.

Enfrin, M., Dumée, L. F., Lee, J. (2019). Nano/microplastics in water and wastewater treatment processes – Origin, impact and potential solutions. *Water Research*. 161, 621-638

European Commission 2018: Single use plastics-impact –assessment: proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the reduction of the impact of certain plastics products on the environment- Brussels, 28 /05/2018-SWD 254

European Commission 2018. Assessment of measures to reduce marine litter from single use plastics. Final Report and Annex- ICF Eunomia — Job number J320301241 [www.icf.com](http://www.icf.com) May 30

Foerster K.H. 2017. *Plastics - the Facts 2017*, Plastics Europe -Idweaver (Ed.), Association of Plastic Manufacturers.

Gerritse J., Leslie H. A., de Tender C. A., Devriese L. I. & Dick Vethaak A. 2020, *Sci. Rep.* 10, 10945

Gupta, D.K., Choudhary, D., Vishwakarma, A., Srivastava, A.K., Singh, A. 2022. Microplastics in freshwater environment: occurrence, analysis, impact, control measures and challenges. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2022

Hahladakis, J.N., Velis, C.A., Weber, R., Iacovidou, E., Purnell, P., 2018. An overview of chemical additives presents in plastics: migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *J. Hazard Mater.* 344, 179e199.

IPEN 2020. Regional Centre under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants 2020 – Plastic's toxic additives and the circular economy, Regional Activity Centre for Sustainable Consumption and Production (SCP/RAC) IPEN.

Jaber, I. G. 2024. *TEC Science*, Inst. for Obesity Research (Monterrey, Mexico) January 4.

Lau W. W. Y., Y. Shiran, R. M. Bailey, E. Cook, M. R. Stuchtey, J Koskella, C. A. Velis, L. Godfrey, J. Boucher, M. B. Murphy, R. C. Thompson, E. Jankowska, A. Castillo Castillo, T. D. Pilditch, B. Dixon, L. Koerselman, E. Kosior, E. Favoino, J. Gutberlet, S. Baulch, M. E. Atreya, D. Fischer, K. K. He, M. M. Petit, U. R. Sumaila, E. Neil, M. V. Bernhofen, K. Lawrence, J. E. Palardy. 2020 *Science*. 10.1126/science.aba 9475 (2020)

Leslie H., Lamoree M. 2022. Microplastics detected in human blood samples. *Environment International*, March 2022.

Li, J., Liu, H., Chen, J.P., 2018a. Microplastics in freshwater systems: a review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Res.* 137, 362e374.

Li, X., Chen, L., Mei, Q., Dong, B., Dai, X., Ding, G., Zeng, E.Y., 2018. Microplastics in sewage sludge from the wastewater treatment plants in China. *Water Res.* 142, 75e85.

Liro M., Emmerik T., Wyżga, B., Liro J., Mikuś P., 2020, *Water* 12, 2055

Loh, E. , 2022. Microplastics in airborne of the nail salons. *Science of the Total Environment*, March

- Lucrezi S., Digun-Aweto O., *Mar. Pollut. Bull.* 155, 111167 (2020).
- Mintenig, S.M., Int-Veen, I., Loder, M.G.J., Primpke, S., Gerdt, G., 2017. Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Res.* 108 (Suppl. C), 365-372.
- Nudelman N.S. 2021, *Residuos Plásticos: Su impacto Ambiental y el Desafío de la Economía Circular*, pp .193-202 Ubicación [www.ancefn.org](http://www.ancefn.org)
- Ockelford A., Cundy A., Ebdon J. E. 2020, *Sci. Rep.* 10, 1865.
- Parker L., 2018 *Microplastics: in the Food and Health*. National Geographic, December 2018.
- Rios H., Mendoza, L.M., Karapanagioti, H., Alvarez, N.R., 2018. Micro(nanoplastics) in the marine environment: current knowledge and gaps. *Curr. Opin. Environ. Sci. Eng.* 1, 47e51.
- Rolsky, C., Kelkar V., Driver E., Halden R. U., 2020. *Current Opinion Environ. Sci. Health* 14, 16.
- Runwal P. 2023. *Chem & Eng News*, August 8
- Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H.-U. and Fürst, P., Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: release of plastic particles from different packaging into mineral water. 2022. *Water Res.* 129, 154-162
- Silva, A.B., Bastos, A.S., Justino, C.I.L., da Costa, J.P., Duarte, A.C., Rocha-Santos, T.A.P., 2018. Microplastics in the environment: challenges in analytical chemistry - a review. *Anal. Chim. Acta* 1017, 1e19.
- Strungaru, S.-A., Jijie, R., Nicoara, M., Plavan, G., Faggio, C., 2019. Micro- (nano) plastics in freshwater ecosystems: abundance, toxicological impact and quantification methodology. *Trac. Trends Anal. Chem.* 110, 116e128.
- Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M.C.M., Ni, B.-J., 2019. Microplastics in wastewater treatment plants: detection, occurrence and removal. *Water Res.* 152, 21e37.
- Tian, L., Jinjin, C., Ji, R., Ma, Y., Yu, X. 2022. Microplastics in agricultural soils: sources, effects, and their fate *Current Opinion in Environmental Science and Health*, June 2022
- Vasquez K. 2023. *Chem & Eng. News* October 02.
- Wang, W., Wang, J., 2018. Investigation of microplastics in aquatic environments: an overview of the methods used, from field sampling to laboratory analysis. *Trac. Trends Anal. Chem.* 108, 195e202
- Xu, Z., Liao, J., Tang, H., Li, N., 2018. Antifouling polysulfone ultrafiltration membranes with pendent sulfonamide groups. *J. Membr. Sci.* 548, 481e489.
- Yoshida, S., Hiraga, K., Takehana, T., Taniguchi, I., Yamaji, H., Maeda, Y., Toyohara, K., Miyamoto, K., Kimura, Y., Oda, K., 2016. A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate). *Science* 351 (6278), 1196.

Yuan B., A. Strid, P. O. Darnerud, C. A. de Wit, J. Nyström, Å. Bergman, 2017 *Environ Int* 109, 73-80.

Zaritzky, N., Nudelman, N. S. 2020 "Gestión de los Residuos Plásticos. Una preocupación Global". Instituto del Ambiente, Academia Nacional de Ingeniería, (2020)

Zhao, S., Danley, M., Ward, J.E., Li, D., Mincer, T.J., 2017. An approach for extraction, characterization and quantitation of microplastic in natural marine snow using Raman microscopy. *Anal. Methods* 9 (9), 1470e1478.

# Reciclado mecánico de materiales plásticos

Ing. Hipólito A. Choren

## 6.1 Introducción

Las alternativas de gestión de los residuos de materiales plásticos son: reciclado mecánico, reciclado químico, pirólisis, reciclado de paragolpes y autopartes de automóviles, utilización como sustituto parcial de agregados naturales en formulaciones de hormigón<sup>1</sup>, fabricación de ladrillos<sup>2</sup> y de madera plástica, valorización energética<sup>3</sup> y como última alternativa, la disposición final en rellenos sanitarios.

El reciclado de residuos de materiales plásticos, sólo es una parte del proceso de la Economía Circular, la que es posible lograr, si se cumplen con las denominadas 7 R:

1. Rediseñar: minimizar el impacto ambiental en el ciclo de vida, ampliando este último.
2. Reducir: el consumo de plásticos, promoviendo un consumo responsable
3. Reutilizar: los plásticos cuando sea posible, incrementando su vida útil.
4. Reparar: los productos plásticos dañados, para su reutilización.
5. Renovar: el diseño de los productos plásticos para su reutilización en otros usos.
6. Reciclar: por proceso mecánico o por procesos de reciclado avanzado.
7. Recuperación: del contenido energético de los plásticos, si no posible su reciclado

---

<sup>1</sup> **Uso en formulaciones de hormigón.** Publicación. Uso de residuos plásticos en el desarrollo de hormigones. Fernández Shepherd, Lucas Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería. Argentina

<sup>2</sup> **Ladrillos con Residuos Plásticos:** Publicación Emprendimiento de fabricación de ladrillos con plástico reciclado involucrando actores públicos y privados. Centro Experimental de la Vivienda Económica. Asociación Vivienda Económica (ceve-ave) y CONICET.

<sup>3</sup> **Valorización energética:** comprende la incineración de los RSU con los residuos plásticos que contienen, y la incineración de los residuos plásticos mixtos como combustible en cementeras y altos hornos.

El reciclado de residuos de materiales plásticos, es extremadamente importante, para cumplir con el proceso de Economía Circular, porque permite:

- minimizar el impacto ambiental que se genera, por la disposición final de los residuos plásticos, en los rellenos sanitarios y por la disposición incontrolada.
- minimizar: el consumo de energía y de recursos no renovables, la contaminación ambiental y las pérdidas económicas, que se originan, por la producción de los nuevos plásticos requeridos, por no utilizar como materia prima, los plásticos reciclados.

El reciclado de los materiales plásticos comprende los materiales preconsumo posindustrial, correspondientes a descartes de las fábricas de plásticos vírgenes, los que son reprocesados en la propia planta) y los residuos plásticos posconsumo (residuos de productos fabricados con materiales plásticos, desechados luego de su utilización).

Según European Bioplastics, el proceso de reciclado mecánico es actualmente el método dominante de reciclado de residuos plásticos posconsumo, en Europa. Corresponde destacar que también es el proceso de reciclado más utilizado a nivel internacional, y en nuestro país.

RECICLADO DE PLÁSTICOS EN ARGENTINA	
Realizado en el año 2022	Toneladas
Plástico reciclado mecánico (11% + que en 2021)	318.000
Plástico recuperación energética	25.000
Total plásticos recuperados	343.000

Representa un 27% del total de envases post-consumo doméstico.  
Desde el 2003 la cantidad de plástico reciclado se incrementó en un 456%.  
Actualmente se reciclan 6 veces más plásticos que en el año 2003.

**Fuente: ECOPLAS en colaboración con CAIRPLAS datos año 2022**

Se adjunta como Anexo, un detalle de la ubicación y cantidad de Plantas Recicladoras de Residuos Plásticos, en las diferentes regiones del país.

Como se observa en el cuadro precedente, en Argentina sólo se utiliza el proceso de reciclado mecánico tradicional, como en la mayoría de los países, y en menor escala la recuperación energética (en hornos de cemento). Los procesos de reciclado químico y por pirolisis, se encuentran en etapa de investigación, desarrollo y pruebas en planta piloto.

La Resolución N°220/2023 aprobó el Convenio entre YPF S.A. y el Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires para el desarrollo de una prueba piloto de pirólisis de residuos plásticos, una de las tecnologías de reciclado avanzado.

Como se indicó precedentemente, el reciclado mecánico es actualmente el proceso más utilizado actualmente a nivel internacional, a pesar de las limitaciones que presenta, indicadas a continuación.

**Limitaciones del proceso de reciclado mecánico**

a) El proceso de reciclado mecánico sólo se utiliza para los residuos de los materiales termoplásticos, indicados en el siguiente cuadro:

<b>RESIDUOS PLÁSTICOS PROCESADOS POR RECICLADO MECÁNICO</b>			
	<b>Polímero</b>		<b>Origen del Residuo</b>
<b>1</b>	Polietilentereftalato	<b>PET</b>	Botellas de agua y de refrescos, envases en general (incluido los alimentos), etc.
<b>2</b>	Polietileno Alta densidad	<b>HDPE</b>	Botellas de leche, envases de refrescos, films para envases (incluido alimentos), embalajes, coberturas de cables eléctricos y de comunicaciones, etc.
<b>3</b>	Policloruro de vinilo	<b>PVC</b>	Tarjetas de crédito, blísters para productos farmacéuticos, tuberías, revestimientos, bolsas para líquidos, etc.
<b>4</b>	Polietileno baja densidad	<b>LDPE</b>	Bolsas de comida congelada, film para alimentos, tuberías, juguetes, vasos, platos, etc.
<b>5</b>	Polipropileno	<b>PP</b>	Alfombras, estereras, recipientes para microondas, juguetes, equipajes, autopartes, paragolpes de automóviles (el reciclado es más sencillo), etc.
<b>6</b>	Poliestireno	<b>PS</b>	Aislante térmico, acústico, eléctrico, embalajes, juguetes, autopartes, etc.
<b>7</b>	Mezclas: policarbonato, nylon, etc.	- - -	tejidos textiles, anteojos, etc.

b) En el cuadro precedente se observa que la cantidad de residuos plásticos, que pueden procesarse, por reciclado mecánico, es muy importante y una excelente alternativa para la protección ambiental, la reducción de la huella de carbono, la preservación de los recursos naturales, la obtención de significativos beneficios económicos, aun considerando las dificultades y las limitaciones del proceso, indicadas a continuación. Los pellets obtenidos, en el proceso de reciclado mecánico, son utilizados para producir bolsas de basura, mangueras, pisos, envolturas no alimentarias, autopartes, maderas plásticas, etc.

c) La degradación que presentan los residuos plásticos.

d) Cuando un residuo plástico es sometido repetidas veces al reciclado mecánico, se modifican las cadenas poliméricas y las propiedades físicas del material procesado. Por tal motivo el reciclado de un determinado producto es limitado.

e) Dificultad para separar los residuos plásticos, por su composición. La selección se puede realizar en origen, por el código de identificación que tienen impreso los productos plásticos (triángulo de Möbius), o aplicando diversos métodos físicos u ópticos, para separar y clasificar los residuos plásticos mezclados.

Es importante garantizar el ingreso, al proceso de reciclado mecánico, de un único polímero plástico, porque la mezcla de polímeros puede afectar la integridad molecular del producto final, debido a las diferencias del punto de fusión y/o resistencia, originando poros, grietas o roturas, en los productos obtenidos con los pellets.

Sería muy importante, que en el diseño de los objetos plásticos se considerara, dentro de lo posible, la utilización de un único polímero, porque se facilitaría notablemente el proceso de selección.

f) descontaminación que debe realizarse, de los residuos plásticos, para evitar afectar la calidad de los pellets obtenidos

## 6.2 Descripción del proceso de reciclado mecánico

Es un proceso en el que los polímeros son separados de acuerdo a su composición, sometiéndose posteriormente a las etapas de trituración, lavado, secado y peletizado, sin alterar la composición del polímero.

### 6.2.1 Selección

Los residuos plásticos termoestables se clasifican de acuerdo al tipo de resina, por ejemplo:

- polipropileno (PP)
- polietileno (PE)
- tereftalato de polietileno (PET)
- polietileno de baja densidad (LDPE)
- polietileno lineal de baja densidad (LLDPE)
- polietileno de alta densidad (HDPE)
- poliestireno (PS)
- policloruro de vinilo (PVC)
- etc.

En la selección se considera, además, el color y la forma (bolsas plásticas, plásticos rígidos, espumas, etc.).

La selección de los residuos plásticos, en función del tipo de polímero, es fundamental, para obtener la máxima pureza del material reciclado, por proceso mecánico.

La selección en origen de los residuos plásticos, en función de su clasificación (triángulo de Möbius) es muy importante, para la optimización de los procesos de reciclado en general, y de reciclado mecánico en particular, por lo que es imprescindible, una correcta gestión, por parte de los municipios, considerando, planificación, promoción, capacitación y gestión de la disposición final, de los residuos plásticos domiciliarios, comerciales, e industriales, implementando normativas regulatorias y un estricto control.

Los procedimientos de selección varían, desde los practicados en origen, por el propio generador de los residuos o por los recolectores domiciliarios, hasta los que aplican desarrolladas tecnologías, como espectroscopia de infrarrojo cercano (a diferentes longitudes de onda), espectroscopia laser, o técnicas basadas en rayos X.

Entre las tecnologías de separación indicadas precedentemente, es de destacar la del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) correspondiente al proyecto de investigación TECNU (TECnología NUclear para el Control de la Contaminación por Plásticos) que comprende la aplicación en el reciclaje de residuos plásticos, de tecnología de radiación con rayos gamma y haces de electrones, y la monitorización marina de los microplásticos con técnicas de rastreo isotópico.

Relación de la tecnología TECNU, con el reciclado mecánico de los residuos plásticos:

La utilización de radiación, para la identificación y separación de los residuos plásticos, supera ampliamente la eficiencia de los métodos de clasificación físicos y ópticos convencionales, reduciendo costos y mejorando la calidad y el valor de los plásticos reciclados.

La evolución de las tecnologías de selección, indicadas precedentemente, permitieron incrementar la eficiencia del proceso de reciclado mecánico, pero es prácticamente imposible lograr una eficiencia del 100 %, en la separación de los diferentes polímeros y de los aditivos, que conforman los productos laminados o mezclados, recurriéndose en estos casos, para la gestión de los residuos plásticos, a la aplicación del proceso de valorización energética. En este último, los residuos plásticos son utilizados como combustible, por ejemplo en los hornos de cemento o por incineración en conjunto con los RSU para la generación de energía eléctrica o la producción de vapor, entre otras aplicaciones. En la valorización energética es fundamental el estricto control del tratamiento de las emisiones gaseosas en general y en particular, de las que potencialmente pueden producirse por la presencia de materiales plásticos, como por ejemplo dioxinas y furanos.

### 6.2.2 Molienda

Los residuos plásticos, separados de acuerdo a las características de los polímeros y exentos de materiales metálicos (su presencia deterioraría las cuchillas del equipo), son triturados y tamizados, para su posterior tratamiento.

### 6.2.3 Separación por densidad

El proceso de separación se realiza por decantación en agua. Los polímeros termoplásticos, tienen diferentes densidades, lo que posibilita separarlos en función de su composición. El objetivo es eliminar las trazas de otros materiales plásticos, diferentes al procesado y de otras sustancias (ej. papel de etiquetas), que podrían estar presentes, en los plásticos provenientes de la molienda, por el potencial riesgo de perjudicar la calidad de los pellets obtenidos, en el proceso de reciclado mecánico.

### 6.2.4 Lavado

Al residuo plástico seleccionado, triturado, y sin trazas de otros polímeros contaminantes, se lo somete a un lavado con agua y detergente de baja espuma. El procedimiento de lavado puede requerir un tratamiento especial, de acuerdo a la característica de la contaminación, de los residuos plásticos procesados. Corresponde destacar que es importante reciclar, dentro de lo posible, el agua de los lavados. Los

efluentes residuales deben ser tratados, previo a su disposición final, para asegurar el estricto cumplimiento de las normativas regulatorias.

### 6.2.5 Secado

En general se realiza por centrifugación, para obtener la humedad requerida por el proceso de peletización, que es de 3 al 5%.

De acuerdo al nivel de secado, necesario para la peletización del polímero, que se encuentra procesado, pueden utilizarse secadores de aire, frío o caliente, para eliminar la humedad, hasta el valor requerido.

Existen varias alternativas, con procesos que combinan la molienda y el lavado o el lavado y el secado, pudiendo utilizarse, en este último caso, centrifugas con aire en contracorriente.

### 6.2.6 Peletizado

El material plástico que ha cumplido las cinco etapas precedentes, puede ser comercializado directamente, en ese estado, o procesado para la obtención de pellets, utilizando en este caso, una extrusora donde se cumplen las siguientes etapas:

Alimentación: con el polímero recuperado o mezclado con polímero virgen, si es requerido para la obtención de la calidad de los pellets.

Fusión, homogenización y peletizado: se produce la fusión del polímero en ausencia de aire y se transporta y mezcla, mediante un tornillo sin fin, hasta la boquilla donde el material plástico fundido, pasa a través del cabezal con orificios (troquel), formando a la salida una hebra/fibra de plástico, que es enfriada para darle la consistencia necesaria y proceder al corte, por una cuchilla giratoria, produciendo los pellets, que posteriormente son secados, hasta alcanzar una humedad de aproximadamente 0,5%, para luego ser envasados.

## 6.3 Tendencias del proceso de reciclado mecánico

- El reciclado mecánico, de los residuos plásticos, es el proceso más utilizado a nivel internacional, por ser el relativamente más sencillo de implementar y el económicamente más rentable, aún con las limitaciones que presenta.
- Existe una creciente inversión en el desarrollo de tecnologías de reciclaje mecánico, destinando recursos a la investigación y al desarrollo de tecnologías innovadoras, que permitan solucionar los problemas presentados, en la selección de los polímeros, presentes en los residuos plásticos, en el incremento de la eficiencia del proceso y de la calidad de producto obtenido, para ampliar su utilización.
- Importantes avances en la tecnología de clasificación de polímeros de los residuos plásticos, para su selección, mejorando la precisión de los procesos utilizados actualmente, fundamentalmente en la tecnología de infrarrojo cercano (NIR). Corresponde destacar el proyecto de investigación TECNU (TECnología NUClear para el "Control de la Contaminación por Plásticos") de la Organización Internacional de

Energía Atómica (OIEA) en el que se considera especialmente la clasificación de los polímeros plásticos, incrementado notablemente la eficiencia, lo que representa un importante aporte para el reciclado mecánico de residuos de materiales plásticos.

- Otorgar incentivos a las empresas a incorporar, como materia prima en los procesos de producción, los plásticos reciclados, entre estos últimos los provenientes del reciclado mecánico los que son, en la actualidad internacional y nacional, los más importantes.
- Regulaciones estrictas de los gobiernos, para prohibir, los plásticos de un solo uso, requerir la separación en origen, de las diferentes calidades de los residuos plásticos, promover el reciclado de plásticos en general y el reciclaje mecánico en particular, por ser el que representa la menor contaminación ambiental.
- Los problemas que presenta el reciclado mecánico, por el requerimiento de la separación de las diferentes calidades de los residuos plásticos y por el limitado número de veces que puede realizarse, por el deterioro de las propiedades originales de los plásticos, se encuentra considerablemente reducido, por la utilización de los residuos, en la fabricación de madera plástica. El proceso de extrusión/moldeo, utilizado en esta última, no realiza la separación de los residuos plásticos, requerida por el reciclado mecánico tradicional, obteniendo artículos de larga duración (muebles varios, bancos de plaza, postes de uso rural, etc.) agregando aditivos antioxidantes y estabilizantes, para su utilización a la intemperie. Este proceso incentiva el desarrollo del reciclado mecánico, permitiendo preservar la naturaleza y minimizar el potencial impacto originado por el cambio climático.
- Investigadores de la Universidad Politécnica de Madrid y de la Universidad de Oviedo, desarrollaron un proceso de reciclado mecánico, de los residuos plásticos agrarios, fundamentado en la utilización de fibras celulósicas residuales, provenientes de la fabricación de papel, como refuerzo de los residuos plásticos agrarios, mezclándolos además con cantidades seleccionadas de desechos plásticos provenientes de RSU y agregando aditivos, para mejorar las propiedades mecánicas de los productos obtenidos.

## 6.4 Conclusiones

Los estudios internacionales demuestran, que la única forma de lograr, la solución al importante problema, generado por los residuos de los materiales plásticos, es la consideración en forma integral, de todas las etapas que lo conforman, desde la producción de los diferentes polímeros plásticos, los productos generados, la gestión de los residuos, considerando el proceso de reciclado, la posibilidad de utilización del producto obtenido <sup>4</sup> y la disposición final.

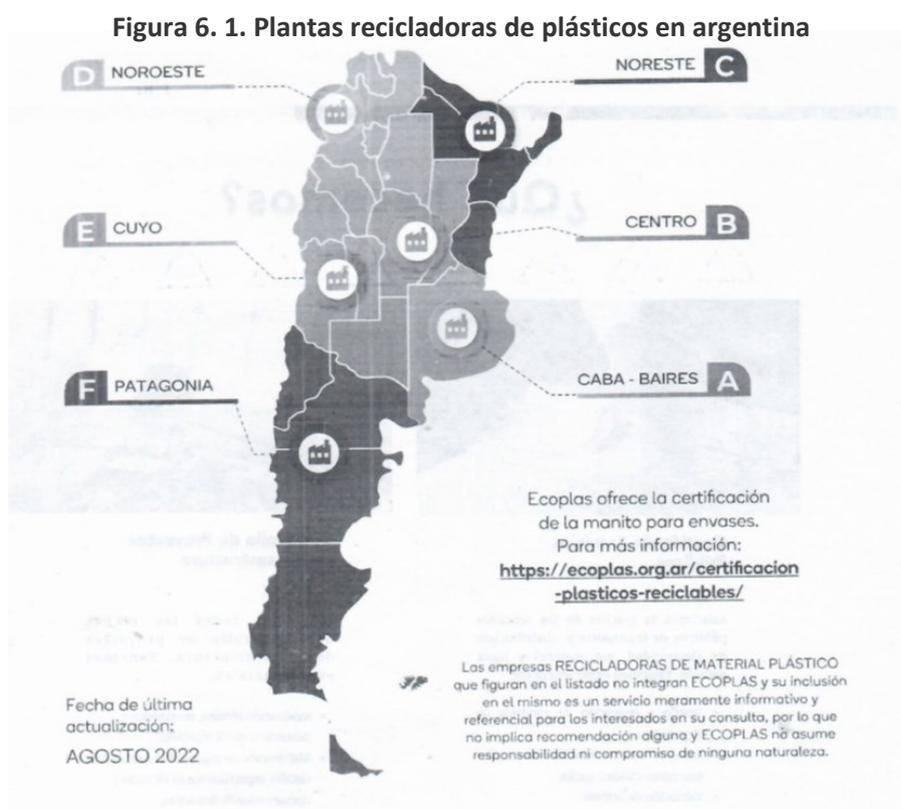
---

<sup>4</sup> En Argentina, el único plástico reciclado que puede ser utilizado en envases de alimentos, es el polietilentereftalato (PET), el que debe ser reciclado cumpliendo estrictamente, con las tecnologías aprobadas por el código alimentario argentino (artículo 212 bis)

Por esta razón, el reciclado mecánico, es sólo una parte de la solución del problema, la que debe complementarse con las otras formas de reciclado (químicos, pirolisis, uso en hormigones, fabricación de ladrillos y de madera plástica, recuperación energética, etc.), y fundamentalmente cumplir con las 7 R de la Economía Circular, lo que requiere, la implementación de normativas regulatorias y de un estricto control de su cumplimiento, en la gestión de los residuos plásticos domiciliarios, comerciales e industriales.

Es muy importante una mayor divulgación y educación, sobre la gestión y el reciclaje de los residuos plásticos, en todos los niveles de la enseñanza (primario, secundario, universitario) para minimizar los importantes problemas generados por un material, prácticamente imprescindible. A medida que aumenta la población mundial y el nivel de vida de los países en desarrollo, el impacto ambiental generado, por el incremento del consumo y por una incorrecta gestión de los materiales plásticos, tanto en su composición y proceso de fabricación de los diferentes polímeros, como en el reciclado y disposición final de los residuos, intensificará los problemas actuales, poniendo en riesgo, el normal desarrollo de las futuras generaciones.

## 6.5 Anexo



Fuente: ECOPLAS "Directorio de Recicladores Plásticos de Argentina"

Tabla 6.1. Cantidad de empresas recicladoras en el país

ZONA		CANTIDAD
A	Ciudad Autónoma de Buenos Aires	1
	Provincia de Buenos Aires	29
B	Córdoba	2
	Santa Fe	6
C	Chaco	1
	Entre Ríos	4
	Misiones	2
D	Jujuy	1
	Salta	1
	Santiago del Estero	1
E	La Rioja	1
	Mendoza	2
	San Luis	1
F	Chubut	1
	Neuquén	1
	Río Negro	1
	Tierra del Fuego	2
<b>TOTAL PAÍS</b>		<b>55</b>

Fuente: ECOPLAS “Directorio de Recicladores Plásticos de Argentina”

## 6.6 Referencias bibliográficas

Proyecto de investigación TECNU (TECnología NUClear para el Control de la Contaminación por Plásticos). Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)

Capítulo 3 – “Reciclado Mecánico” del “Manual de Valorización de los Residuos Plásticos” 5ta edición elaborado por ECOPLAS Plastivida + CAIP

Publicaciones varias de ECOPLAS y CAIRPLAS

Academia Nacional de Ingeniería - Instituto del Ambiente. Gestión de los Residuos Plásticos Una Preocupación a Nivel Global. año 2020 – [www.acadning.org.ar](http://www.acadning.org.ar)

ONU - Medio Ambiente. Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe. 2018

Reciclado Mecánico de Material Plástico Procedente de la Fracción Resto de las Plantas de Tratamiento de RSU – Tesis Doctoral de Universidad de Granada- José M. Soto Medina – Año 2021

Norma ISO 15270:2008 y normas de la UE sobre el reciclaje de plásticos.

Circularidad de Plásticos y Normalización a Nivel Europeo - AIMPLAS

Orden TED/646/2023, de España, sobre criterios de residuos plásticos reciclados mecánicamente, para dejar de ser considerados un residuo de acuerdo a la Ley 7/2022

“La Nueva Ley Alemana de Envases y sus Exigencias en Materia de Reciclado”  
Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Berlín.

Mechanical and chemical recycling of solid plastic wast - Mechanical recycling section  
- Author panel Kim Ragaert , Laurens Delva , Kevin Van Geem

United States National Post-Consumer Plastic Bottle Recycling Reports - American  
Chemistry Council,2018.

Informing the Public and Educating Students on Plastic Recycling by Ethan M. Bennett  
and Paschalis Alexandridis Department of Chemical and Biological Engineering,  
University at Buffalo, The State University of New York (SUNY), Buffalo, NY 14260-  
4200, USA.

# Reciclado químico, enzimático y valorización energética de residuos plásticos

Dra. Ing. Noemí E. Zaritzky

## 7.1 Reciclado de plásticos

La cantidad de desechos plásticos en el medio ambiente se ha convertido en una preocupación importante en todo el mundo. En los últimos años ha habido un gran impulso hacia la sostenibilidad y la economía circular.

Existen diversos métodos en el tratamiento del reciclado de los plásticos, denominados generalmente: primario, secundario, terciario y cuaternario (Arandes et al. 2004)

El **tratamiento primario** consiste en operaciones mecánicas para obtener un producto de similares características que el producto original. Este reciclado se aplica para el aprovechamiento de recortes de las plantas de producción y transformación, y corresponde a un porcentaje muy reducido de los denominados residuos plásticos.

En el **tratamiento secundario**, consistente en la fusión, los desechos son convertidos en productos de diferentes formas y con mayor espectro de aplicaciones, las cuales son diferentes a las del plástico original, en un proceso evolutivo "en cascada" hacia prestaciones inferiores. Este reciclaje mecánico es la tecnología más usada hasta ahora, y se estima en sólo el 20% los plásticos que pueden ser reciclados de esta forma.

En el **reciclado físico** los plásticos se someten a un proceso de disolución en solventes específicos con posterior recuperación del plástico, sin ruptura de la cadena polimérica.

El **reciclado terciario**, "reciclado químico" también denominado "avanzado", tiene por objetivo el aprovechamiento integral de los elementos constitutivos del plástico, por transformación del mismo en hidrocarburos, los cuales pueden ser materias primas integrables, ya sea en la ruta de obtención de plásticos o en otras rutas de la industria petroquímica. Los métodos pueden ser químicos o térmicos, dependiendo del tipo de polímero. También pueden aplicarse métodos enzimáticos (Fig. 7.1)

El **reciclado cuaternario** consiste en valorización energética es decir incineración en condiciones controladas para recuperar energía

Para el reciclado de plásticos la tecnología de reciclado mecánico tradicional es la primera opción. El tema de reciclado mecánico fue desarrollado en el Capítulo anterior. Como se ha señalado el reciclado mecánico es un proceso de valorización que, mediante temperatura y cizalla, convierte un residuo plástico en un material reciclado que puede ser empleado para la misma aplicación o para otra distinta. En este proceso la cadena polimérica se mantiene, es decir, no se produce una ruptura de cadena, salvo la debida a la posible degradación del propio polímero. El reciclado mecánico es aplicable a los materiales plásticos, aunque en el caso de los materiales termoestables éste se limita en la mayoría de los casos a un reciclado donde el resultado se incorpora como carga y no como polímero (ya que el polímero no puede volver a fundirse).

Recordemos que el proceso de reciclado mecánico consiste en clasificar, lavar, granular y finalmente volver a fundir el material para transformarlo en nuevos productos. Es un proceso muy eficaz en el caso de objetos fabricados con un único polímero o en el de aquellos objetos cuyos múltiples componentes pueden separarse adecuadamente. Sin embargo, el reciclado mecánico resulta mucho más complicado cuando se trata de objetos fabricados con varios polímeros o materiales íntimamente relacionados (por ejemplo, algunos envases alimentarios multicapa) o de residuos que están contaminados o que contienen sustancias no deseadas.

Algunas veces es posible reciclar mecánicamente juntos componentes diferentes para obtener una mezcla con la que se pueden crear nuevos objetos. La única restricción es que esos materiales reciclados a menudo tienen un rendimiento inferior y, por lo tanto, se reutilizan en aplicaciones técnicamente menos exigentes que las originales y cuyo mercado es limitado (mobiliario urbano, por ejemplo). Actualmente el 50 % de los distintos envases de plástico que se utiliza es fácilmente reciclable mecánicamente.

La Fig. 7.1 muestra los distintos tipos de reciclado de plásticos. El reciclado mecánico fue tratado en el Capítulo 6.

## 7.2 Reciclado físico o por disolución

Es una operación de valorización por la que los residuos plásticos se someten a la acción de disolventes y otros agentes químicos por los cuales los diferentes polímeros son disueltos y separados así de la totalidad del residuo.

Esta operación tiene como finalidad separar polímeros, o incluso aditivos para, sin provocar la ruptura de la cadena polimérica, obtener materiales separados que luego puedan ser incorporados como materias primas recicladas. Al no producirse ruptura de la cadena, no se considera un reciclado químico, aunque en algunos documentos se incluye dentro de esta categoría.



**Fig. 7.1 Diferentes tipos de reciclado de plásticos. Fuente: AIMPLAS. Instituto Tecnológico del Plástico. España**

El reciclado de plásticos por extracción con solventes incluye la eliminación de impurezas, disolución (disolución homogénea o heterogénea) y re-precipitación (Zhao y col. 2018).

El polímero se disuelve en el solvente seleccionado, y luego cada polímero se cristaliza selectivamente. Idealmente, cuando un solvente puede disolver el polímero objetivo o todos los demás polímeros excepto el objetivo, puede usarse para una disolución selectiva. La clave del proceso de disolución es encontrar ese solvente selectivo.

Este proceso permite reciclar por ejemplo PVC y es posible gracias a una propiedad que tiene el PVC y es su total solubilidad en determinados solventes.

Durante el proceso, el PVC se disuelve y luego se recupera mediante la evaporación o precipitación, obteniéndose PVC granulado, que se puede reutilizar. El solvente se recupera y se purifica en un circuito cerrado y se vuelve a emplear. Las impurezas, metales y otros plásticos no se disuelven y se separan para su posterior tratamiento.

Este reciclado por disolución, es un proceso físico que no genera reacciones químicas. Se ha aplicado a plásticos como PS (poliestireno), PC (policarbonato), Poliolefinas, PET, ABS (acrilnitrilo -butadieno -estireno y PVC. Se han usado solventes como xileno, ciclohexano, tetracloroetileno etc. sometiendo a temperaturas superiores a 85°C. En algunos casos se han usado temperaturas de 140°C y en otros se trabajó a temperatura ambiente

Muchos factores afectan la disolución de polímeros, como el peso molecular, composición y estructura del polímero y composición y tamaño del solvente. El benceno disuelve más rápidamente al PS en comparación con el tolueno, debido a la mayor presión de vapor y tamaño más pequeño de la molécula de benceno.

Se han probado además diversas técnicas, como extracción con fluidos super-críticos, extracción asistida por microondas, extracción acelerada con solventes, extracción

asistida con ultrasonido etc. La selección de solventes óptimos para la extracción es crucial, así como la reducción del tiempo de extracción. Sin embargo, algunos solventes orgánicos son peligrosos lo cual limita su uso. Por lo tanto deben elegirse solventes de extracción no tóxicos y en lo posible económicos. Por ejemplo, disolventes naturales, como los aceites de terpeno es una de las tendencias para reciclar polímeros por este método.

### 7.3 Reciclado químico o reciclado molecular

El reciclado químico conocido también como terciario o avanzado es una tecnología en donde el material plástico se convierte en moléculas más pequeñas, usualmente líquidos o gases, que son usadas como materia prima en nuevos procesos petroquímicos y plásticos.

El reciclado químico se ofrece como una tecnología complementaria al reciclado mecánico para la recuperación de plásticos. Es una alternativa útil para recuperar aquellos residuos plásticos para los cuales el reciclado mecánico no es una opción viable o sostenible.

A través de los procesos de reciclado químico se consigue la descomposición del polímero en hidrocarburos (aceites), que pueden emplearse en diversas aplicaciones, o en sus correspondientes monómeros, que pueden ser empleados de nuevo en procesos de polimerización para obtener nuevo material plástico de calidad equivalente al material virgen.

El término “químico” es usado para referirse a la modificación de las cadenas poliméricas que se encuentran en las macromoléculas. (Ragaert y col., 2017, Zhao y col. 2018)

Según la norma ISO 15270:2008 (Plastics Guidelines for the Recovery and Recycling of Plastics Waste) es la “conversión a monómero o la producción de nuevas materias primas cambiando la estructura química de los residuos plásticos mediante craqueo, gasificación o despolimerización, excluida la recuperación de energía y la incineración”.

Según esta definición y según la jerarquía de residuos, el reciclado químico debería incluirse dentro del apartado de reciclado, por encima de la valorización energética y la eliminación en vertedero.

El reciclado por disolución y el reciclado químico son actualmente más incipientes y se espera un gran desarrollo en los próximos años (AIMPLAS, Instituto Tecnológico del Plástico, España, 2022).

De acuerdo con la Asociación Chemical Recycling Europe, el reciclado químico se define como “cualquier tecnología de reprocesamiento que afecta directamente la formulación del residuo polimérico o del polímero en sí mismo, para convertirlo en sustancias químicas y/o productos. Estas sustancias y estos productos pueden volver a ser empleados en el mismo propósito o en otro, pero no serán usadas para recuperación energética o incineración”.

El reciclado químico permite la transformación de todo tipo de residuos plásticos en sus componentes químicos originales. Al crear una nueva materia prima secundaria que ofrece la misma calidad que la materia prima virgen, el reciclado químico puede ayudar a cerrar el ciclo y reducir el consumo de combustibles fósiles.

El cambio de polímeros vírgenes basados en combustibles fósiles a polímeros reciclados como materia prima para la creación de productos plásticos, ahorra energía y reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>. Es por eso que el reciclado químico puede ayudar a combatir el calentamiento global y limitar aún más la huella de CO<sub>2</sub> de los productos plásticos.

A diferencia del reciclado mecánico, el reciclado químico se encuentra mucho menos desarrollado y extendido a escala industrial. Sin embargo, el reciclado químico puede considerarse como un proceso complementario al mecánico ya que es aplicable a determinados materiales para los que el reciclaje mecánico no ofrece actualmente, una solución.

Se aplica a los siguientes materiales de envase: materiales con elevada contaminación orgánica, procedente de restos de producto envasado, materiales monocapa fuertemente coloreados, materiales multicapa.

Otra ventaja que tiene el reciclado químico es que se pueden recuperar los plásticos termoestables, como el poliuretano, fenólicos (baquelita, melamina), resinas epoxi etc.

Algunos métodos de reciclado químico ofrecen la enorme ventaja de que no requieren de una separación por tipo de plástico, es decir, que pueden tomar residuos mixtos, reduciendo así los costos de recolección y clasificación, pero, a la vez, produciendo productos finales de alta calidad.

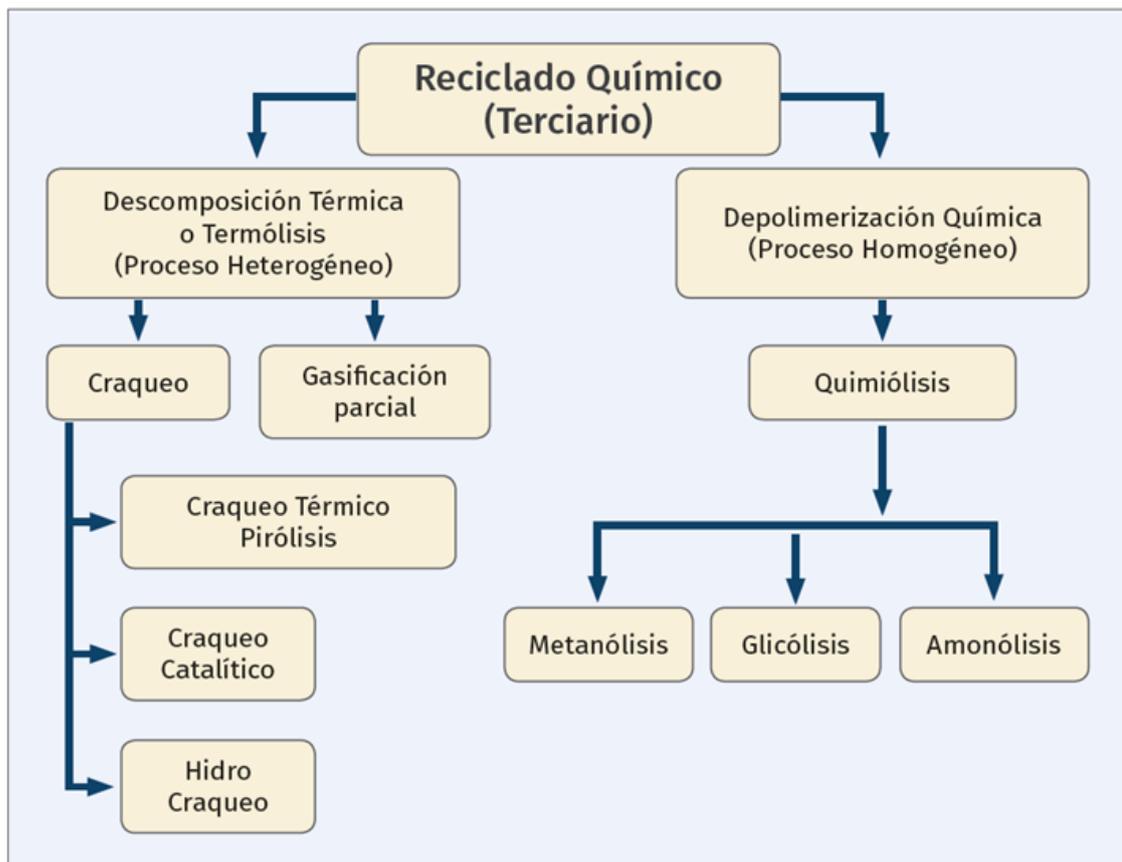
De acuerdo a la Fig. 7.2 los procesos de reciclado químico o terciario se pueden clasificar en:

**A. Descomposición térmica o termólisis** que incluye:

- **Gasificación parcial**
- **Craqueo** que involucra craqueo térmico o pirólisis, el craqueo catalítico y el hidrocraqueo.

**B. Despolimerización química**

Proceso homogéneo también denominado **quimiólisis que incluye entre otros la glicólisis, la metanólisis, la hidrólisis, amonólisis etc.** y se aplica a polímeros producidos por condensación como por ejemplo el PET.



**Fig. 7.2 Procesos de reciclado químico. Fuente: Plastics Technology México. (2023)**

Se comenzará describiendo los procesos de descomposición térmica de reciclado o termólisis.

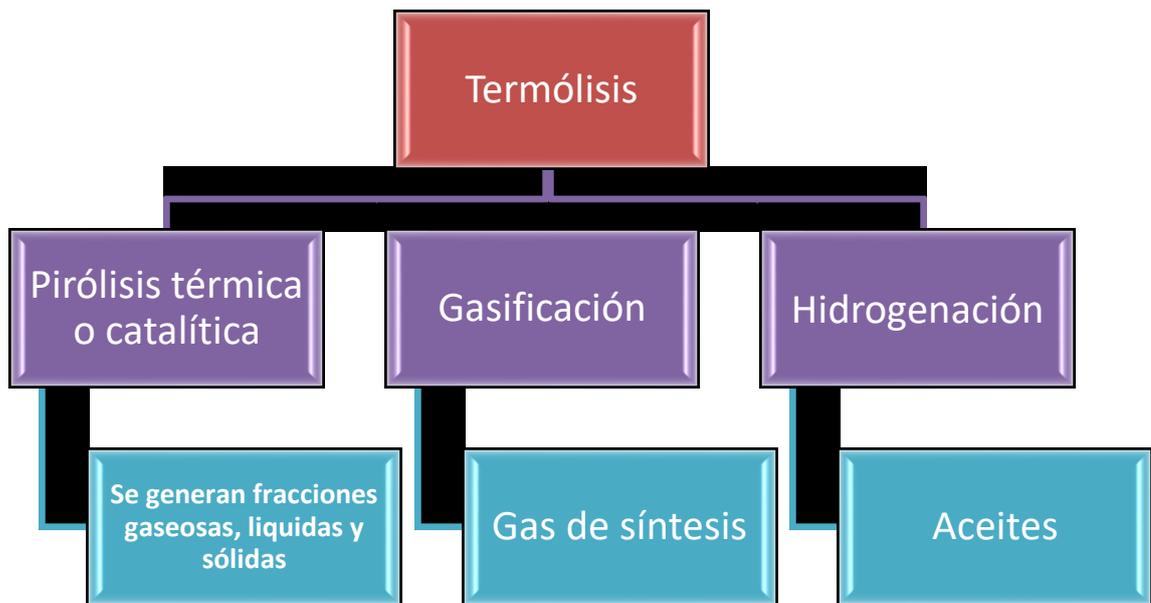
#### 7.4 Descomposición térmica o termólisis

La termólisis (Figura 7.3) es el tratamiento de los plásticos de desecho en presencia de calor a temperaturas controladas. Los procesos de termólisis comprenden: **pirólisis** (desintegración o craqueo térmico en atmósfera inerte, es decir en ausencia de oxígeno), **gasificación** (en presencia subestequiométrica de aire, que generalmente conduce a monóxido de carbono (CO) y producción de hidrógeno (H<sub>2</sub>), e **hidrogenación** (hidro-desintegración, o hidrocraqueo).

Consiste en descomponer a través de un proceso químico térmico los residuos plásticos en componentes más sencillos, como son los monómeros de partida, gas de síntesis (CO y H<sub>2</sub>), o hidrocarburos. Por sus características, es viable su aplicación tanto a mezclas de distintos polímeros (lo que evita la separación por tipos) como a polímeros termoestables, por lo que es un complemento adecuado al reciclado mecánico.

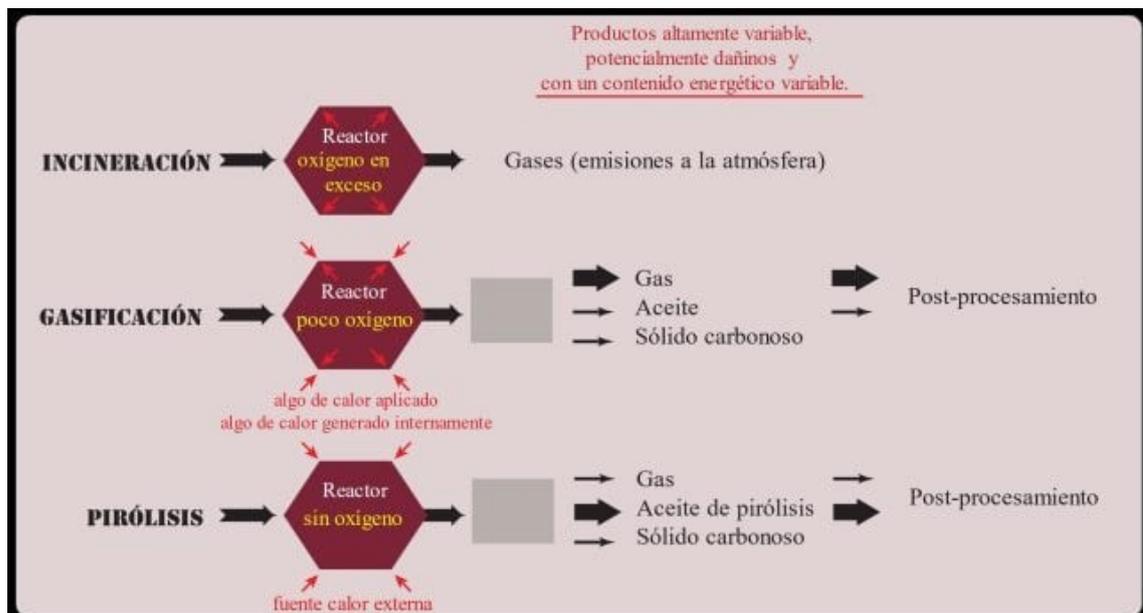
Los polímeros son convertidos a monómeros, a combustibles gaseosos y líquidos, y a compuestos de base en la petroquímica. Algunas opciones de descomposición térmica tienen la ventaja de disponer parcialmente de infraestructura en las refinerías.

Existe un interés creciente en desarrollar productos de valor agregado como lubricantes sintéticos, gasolinas y diésel a través de la degradación térmica de polietileno (PE). El desarrollo de tecnologías de reciclado con valor agregado es altamente deseable ya que aumentaría el incentivo económico para reciclar polímeros en todos los niveles.



**Fig. 7.3 Procesos de termólisis**

En la Fig.7.4 se resumen las diferencias entre incineración, gasificación y pirólisis.



**Fig. 7.4 Diferencias entre los procesos de incineración, gasificación y pirólisis**

### 7.4.1 Gasificación

La combustión directa de residuos poliméricos, con exceso de oxígeno puede ser perjudicial para el medio ambiente debido a la producción de sustancias nocivas tales como óxidos de azufre y dioxinas.

Sin embargo, la **gasificación se produce por la oxidación parcial de los residuos poliméricos (usando oxígeno y/o vapor) y genera una mezcla de hidrocarburos y gas de síntesis (CO y H<sub>2</sub>), dependiendo la cantidad y calidad del tipo de polímero utilizado.**

La gasificación consiste en la oxidación parcial de las cadenas poliméricas para producir gas de síntesis. El gas de síntesis o sintegás es un combustible gaseoso obtenido a partir de sustancias ricas en carbono sometidas a un proceso químico a alta temperatura. Contiene cantidades variables de **monóxido de carbono e hidrógeno**, que puede ser utilizado como combustible para la generación de electricidad, materia prima para la generación de metano, amoníaco o alcoholes, o como agente reductor para la producción de acero en altos hornos.

Esta técnica presenta la ventaja de admitir como alimentación toda la corriente de residuos sin necesidad de separación previa. Es decir, la gasificación consiste en el tratamiento térmico de los materiales a gasificar en presencia de una cantidad **controlada de oxígeno y/o vapor de agua, inferior a la estequiométrica**, de manera que se produzca una oxidación parcial de los mismos. Es una tecnología madura para el carbón y ampliamente implementada. El producto de estos tratamientos es como se mencionó el gas de síntesis, una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno (CO + H<sub>2</sub>), lo que requiere necesariamente acoplar estas tecnologías dentro de un complejo químico que permita el aprovechamiento de dicho producto.

El calentamiento convierte las grandes cadenas de átomos de carbono en pequeñas cadenas, utilizando temperaturas superiores a los 900°C y presiones > 60 atm. El proceso de gasificación de Texaco es una de las tecnologías de gasificación más conocidas. TGP (Texaco Gasification Process) es un proceso **de oxidación parcial, no catalítico, de lecho arrastrado** en el que las sustancias carbonosas reaccionan a temperaturas y presiones elevadas, produciendo gas de síntesis, que se puede utilizar para producir otras sustancias químicas o se puede quemar como combustible. Es un proceso en dos etapas, una etapa inicial de licuefacción de los productos alimentados seguida de otra posterior de gasificación propiamente dicha. Los sistemas de flujo arrastrado, gasifican partículas de combustible pulverizado suspendido en una corriente gaseosa.

Los sólidos en la alimentación se muelen y bombean en una suspensión que contiene de 40 a 70 % en peso de sólidos y de 30 a 60 % de líquido, generalmente agua. Durante la licuefacción el plástico es parcialmente despolimerizado en condiciones suaves de craqueo térmico, obteniéndose un aceite pesado y una mezcla de gases compuesta por una fracción condensable y otra no condensable. Los gases no condensables se añaden a una corriente de gas natural para utilizarse como combustible en esta etapa de licuefacción. El aceite y el gas condensable se inyectan

a la segunda etapa de gasificación. La gasificación se lleva a cabo con oxígeno y vapor de agua a temperaturas entre 1200-1500 °C.

Los materiales inorgánicos en la masa fundida de alimentación se eliminan como una escoria similar al vidrio. Los desechos en suspensión se bombean a un inyector especialmente diseñado montado en la parte superior del gasificador revestido con refractario. La alimentación de desecho, el oxígeno y un combustible auxiliar, como el carbón, reaccionan y fluyen hacia abajo a través del gasificador hasta una cámara de extinción que recoge la escoria. La escoria finalmente se elimina a través de una tolva. Un depurador enfría y limpia aún más el gas de síntesis. Las partículas finas eliminadas por el depurador pueden reciclarse al gasificador; también se puede agregar un sistema de recuperación de azufre.

Después que el TGP convierte los materiales orgánicos en gas de síntesis, el gas producto es lavado con agua y enfriado. Consiste principalmente en hidrógeno y monóxido de carbono; esencialmente no contiene hidrocarburos más pesados que el metano. Los metales y otros componentes de las cenizas pasan a formar parte de la escoria vítrea.

Los productos obtenidos sometidos a sucesivas etapas de limpieza, se recogen al final como un gas de síntesis limpio y seco (compuesto en mayor medida CO y H<sub>2</sub>) y, en menor medida, por CH<sub>4</sub>, (metano) CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, así como por algunos gases inertes.

En este proceso se usa **aire como agente gasificante**, lo que proporciona muchas ventajas. La principal es no usar oxígeno, lo que simplifica el proceso reduciendo el costo; la desventaja es la presencia de nitrógeno (inerte) en el aire que causa reducción en el valor calorífico de los combustibles producidos, debido al efecto de dilución en los gases combustibles al final del proceso.

La composición promedio del producto de gas de síntesis seco del TGP consiste en 37 % de hidrógeno, 36 % de monóxido de carbono y 21% de dióxido de carbono. El único contaminante orgánico restante superior a 0,1 partes por millón (ppm) es el metano (55 ppm). La eficiencia de destrucción y eliminación de la adición de compuestos orgánicos volátiles (clorobenceno) superó el objetivo del 99,99 %.

Otro agente gasificante es el vapor de agua, que se puede introducir en relación estequiométrica respecto al H<sub>2</sub>, evitando la presencia de N<sub>2</sub>. Varios tipos de procesos de gasificación han sido desarrollados. El principal reto es que durante la gasificación se producen cantidades significativas de carbón, el cual requiere ser procesado y/o quemado.

Se han aplicado procesos de gasificación para PVC, PP y PET.

#### 7.4.2 Craqueo térmico o pirólisis: Pirólisis térmica y catalítica

La pirólisis o craqueo térmico se basa en la ruptura de las cadenas poliméricas. Es un proceso en el que se descompone o degrada térmica y químicamente una sustancia en la **ausencia total de oxígeno bajo una atmósfera inerte**. Se realiza a temperaturas comprendidas entre 400-800°C.

Este método se distingue de otros como la gasificación e incineración, los cuales requieren oxígeno parcial o completo, respectivamente.

La descomposición térmica de los materiales plásticos tiene como productos gases sintéticos, aceites y residuos sólidos, en cantidades relativas muy variables. Estos se pueden aplicar como materias primas para la producción de combustibles como aceites, gasolinas y diésel mediante la aplicación de una etapa previa de destilación. Dependiendo de los polímeros o mezclas de polímeros alimentados y las condiciones de operación utilizadas, los rendimientos varían.

Tanto los productos líquidos como los gaseosos son mezclas de numerosos compuestos diferentes. El tratamiento termoquímico rompe los polímeros grandes en hidrocarburos más pequeños de varios números de carbono y puntos de ebullición en un ambiente inerte, a temperatura elevada.

La pirólisis se ha considerado como una opción para el tratamiento químico de residuos plásticos y su objetivo es la reducción de dichos residuos para ser transformados en materiales que puedan ser aprovechados energéticamente, o usados como materia prima de ciertos procesos industriales.

Los principales polímeros que cumplen con los requerimientos para ser sometidos a pirólisis, son aquellos sintetizados mediante la polimerización tipo poliadición, como el caso de las poliolefinas Polietileno (PE) o Polipropileno (PP), Poliestireno (PS).

En el proceso de pirólisis, los residuos orgánicos o materiales plásticos son introducidos en un reactor, se aplica calor y los enlaces químicos que componen las cadenas poliméricas se rompen, dando lugar a moléculas más pequeñas. Este proceso se efectúa sin inducir reacciones de combustión (que se produce cuando hay exceso de oxígeno), demostrando así la eficiencia y la versatilidad de la pirólisis.

Una de sus ventajas es la posibilidad de tratar mezclas de diversos plásticos y potencialmente contaminados sin requerir un pre-tratamiento.

La temperatura de pirólisis es el parámetro considerado más importante, ya que determina tanto la velocidad de descomposición térmica, como la estabilidad de la materia prima y los productos de reacción. En lo que respecta a los requerimientos de temperatura, esta puede tener rangos desde 300 hasta más de 850 °C. Durante la pirólisis pueden distinguirse diferentes niveles de temperatura, de presiones, de tiempos de reacción y la presencia o ausencia de gases reactivos o líquidos, y de catalizadores.

Los productos obtenidos, como metano, etileno, propileno o benceno, pueden ser reutilizados por la industria petroquímica o bien ser empleados como combustibles.

Los componentes más importantes que se obtienen del proceso de pirolisis térmica son tres fracciones: sólida (carbono o coque), líquida (alquitrán, aceites) y una fracción gaseosa.

La fracción sólida suele estar formada por lo que se conoce como residuo carbonoso. Dicho residuo constituido por carbón, representa la pérdida total de hidrógenos del material original pirolizado. Es por lo tanto el producto de degradación máxima. Es

posible encontrar en esa fracción sólida, parte del material original a pirolizar que debido a condiciones experimentales como puede ser una baja temperatura de calefacción, no es totalmente degradado y únicamente permanece como material fundido que posteriormente solidifica. (Fuentes, 2020)

Los gases obtenidos en la degradación de materiales plásticos están formados por hidrocarburos de cadena corta que en ocasiones constituyen los monómeros del plástico original. Estos productos volátiles presentan una gran cantidad de aplicaciones comerciales.

Los productos más pesados derivados de la pirólisis que no pueden permanecer en estado gaseoso, condensan formando la fracción líquida. Esta fracción está formada por hidrocarburos de cadena más larga que los que se encuentran en la fase gaseosa y puede ser nuevamente craqueada para generar productos gaseosos. Por ejemplo, el producto conocido como “nafta” formado por una mezcla de parafinas, cicloparafinas y compuestos aromáticos, puede ser degradado para producir etileno como producto principal y propileno como subproducto, materiales de gran importancia en la industria química.

La proporción en la que se obtienen cada una de las posibles fracciones (sólida, líquida y gaseosa) depende de una serie de variables como la temperatura, la velocidad de calefacción, el tiempo de residencia en el reactor, el tamaño de partícula del sólido a degradar, entre otros.

En la mayoría de los plásticos, el proceso de pirólisis inicia alrededor de los 300°C; también la presencia de aditivos (estabilizantes, plastificantes y pigmentos) influye en el inicio de la reacción. Por lo general, se selecciona una temperatura media entre 400°C a 500°C para el proceso.

La estrategia perseguida en la pirólisis térmica es la optimización del proceso para conseguir los productos más rentables, recuperando los monómeros tales como etileno, propileno, estireno, y obteniendo un elevado rendimiento de aromáticos: benceno, tolueno, xilenos

Las variables que influyen en la pirólisis son:

**Composición del material a pirolizar:** el producto obtenido está en función al material que ingresa.

**Temperatura:** Los procesos de pirólisis se clasifican generalmente en función del rango de temperaturas utilizado para destruir la estructura plástica: bajas (inferior o igual a 600°C), medias (600–800 °C) y altas (superior a 800°C) (Fuentes, 2020)

La temperatura determina la velocidad de descomposición térmica así como la estabilidad de las materias primas que ingresan, y de igual manera influye en los productos obtenidos. Las elevadas temperaturas, mayores a 600°C, dan lugar a pequeñas moléculas gaseosas simples; mientras que los productos líquidos más viscosos, se producen a temperaturas menores a 400°C (temperaturas bajas) y a presiones más altas.

**Humedad:** este parámetro influye en la temperatura, puesto que se empleará calor

para evaporar el agua que pueda contener la muestra, haciendo que el proceso de pirólisis se realice a menor temperatura que la considerada en un principio.

**Presión:** esta condición tiene efecto tanto en el proceso de pirólisis como en la obtención de productos. A presiones elevadas el rendimiento de gases no condensables aumenta, con la consecuente disminución de producto líquido.

**Velocidad de calentamiento:** este parámetro y la temperatura, son de gran importancia en la pirólisis.

**Tiempo de residencia:** un extenso tiempo de residencia de los compuestos volátiles, favorece la formación de compuestos gaseosos. La temperatura de reacción es la que marca principalmente el tiempo de reacción que se necesita.

Los residuos plásticos se tratan continuamente en una cámara o reactor y los gases pirolíticos se condensan. Tanto los productos líquidos obtenidos como los gaseosos son mezclas de numerosos compuestos.

Como se mencionó el tratamiento térmico de pirolisis rompe los polímeros grandes en hidrocarburos más pequeños de varios números de carbono y puntos de ebullición en un ambiente inerte, sin aire a temperatura elevada.

Los hidrocarburos entre los puntos de ebullición de 35 y 185°C se pueden utilizar como gasolina de motor, entre 185 y 290 °C como diésel #1, entre 290 y 350°C como diésel #2, entre 350 y 538 °C, como gasoil pesado de vacío y >538 °C como residuo.

Recordemos que el *diésel* o gasóleo (gasoil) es un hidrocarburo líquido de densidad 0.85 g/cm<sup>3</sup> a 15 °C. El diésel #1 funciona mejor que el diésel # 2 a bajas temperaturas. Tiene una viscosidad más baja y no es propenso a gelificarse en temperaturas bajo cero. El gasoil de vacío no es un producto final; se lleva a las unidades de cracking catalítico fluido donde a elevada temperatura y con presencia de un catalizador sus largas moléculas se rompen y se transforman en componentes más ligeros como GLP (gas licuado de petróleo), naftas o gasóleos.

Con algunos polímeros de adición, como el poliestireno (PS), es posible obtener los monómeros originales con un rendimiento superior al 80%. Sin embargo, con la mayoría de los polímeros se obtiene una amplia distribución de productos debido al mecanismo de formación de radicales de la pirólisis térmica.

El PS produce elevados rendimientos a productos líquidos, principalmente aromáticos, siendo el estireno y el etilbenceno los mayoritarios, y genera una elevada cantidad de residuo sólido carbonoso, duro y similar al carbón, resultado de la condensación de anillos aromáticos.

La pirólisis de PET produce elevadas cantidades de sólidos y gases, principalmente monóxido y dióxido de carbono (CO y CO<sub>2</sub>).

Las poliolefinas (PEAD, PEBD y PP) generan menores cantidades de gases y residuos y elevados rendimientos a líquidos y ceras, con ligeras diferencias entre los tres polímeros en función del sistema de reacción. (Fuentes, 2020)

Uno de los procesos de pirólisis de PVC comienza con un tratamiento previo que incluye trituración y eliminación de los compuestos no plásticos. El material así preparado se introduce en un reactor por ejemplo de lecho fluidizado precalentado que opera a 500°C en ausencia de aire. Los productos de reacción abandonan el reactor junto con el gas de arrastre. El ácido clorhídrico formado en la descomposición del PVC se neutraliza haciendo pasar el gas por un lecho de caliza. Alrededor del 85% en peso del plástico que entra en el proceso se transforma en hidrocarburos líquidos aptos para los procesos de refinería. Se obtiene, además, casi un 15% de gases que se emplean como combustible en el propio proceso. Los materiales sólidos se separan como residuos

La pirólisis puede ser térmica sin catalizador o catalítica. Diversos factores, como la composición de la alimentación, el tipo de catalizador, el tamaño de las partículas, la temperatura de pirólisis y la relación polímero-catalizador, más el diseño del reactor, afectan la conversión y la calidad del combustible.

Tipo de plástico de alimentación al proceso: En lo que se refiere a las poliolefinas, además de que son polímeros que contienen solamente carbono e hidrógeno y considerando los mecanismos de descomposición en sus cadenas poliméricas, los enlaces más inestables serán los primeros en romperse y dar lugar a la formación de radicales. Recordemos que un átomo de carbono es llamado primario cuando está unido solamente a otro átomo de carbono y un átomo de carbono es secundario cuando está unido a otros dos átomos de carbono. El requerimiento energético para romper un carbono primario es mayor que para uno secundario, lo que significa que se romperá primero donde haya una ramificación en la molécula.

LDPE se agrieta más fácilmente que el HDPE debido a su mayor ramificación. Se ha observado que la descomposición de PE y PP es más rápida en presencia de PS porque cataliza la reacción de formación de radicales.

### **Pirólisis catalítica**

En el proceso de pirólisis catalítica se agregan catalizadores o sustancias químicas diseñadas y optimizadas para mejorar la velocidad de reacción de la pirólisis. El empleo de catalizador influye en la cinética, en mecanismos de reacción y, consecuentemente, en la calidad y distribución de los productos. (Plastics Technology, México 2023)

La pirólisis catalítica posee diversas ventajas sobre los sistemas convencionales o no catalíticos. Reduce drásticamente la temperatura de la pirólisis al disminuir la energía de activación de la reacción. Asimismo, el uso de catalizadores también ha demostrado una mayor selectividad hacia los productos líquidos de pirólisis deseados. Uno de los propósitos del uso de catalizador es convertir productos en fase vapor a gasolina de mayor octanaje. También mejorar la calidad del combustible, aumentar la selectividad y reducir la temperatura de pirólisis y el tiempo de residencia.

La selección adecuada de catalizadores puede incrementar el rendimiento de aceite con menor contenido de hidrocarburos, así como reducir la energía necesaria para

que se lleve a cabo la conversión de los residuos. Los catalizadores a base de zeolita son más efectivos. Las zeolitas ultra-estables reducen significativamente la temperatura de craqueo.

La pirólisis catalítica es uno de los procesos de conversión de los residuos plásticos en combustibles, en la cual se emplean catalizadores para acelerar el proceso de pirolisis, logrando reducir el rango de temperaturas desde 900°C a 500°C, lo que significa un ahorro en el empleo de energía (Almeida y Marquez, 2016). El producto de esta pirólisis catalítica es un combustible que puede emplearse en la industria, sustituyendo la gasolina proveniente de las refinerías de petróleo, con las ventajas que el combustible usa como materia prima los residuos plásticos.

Como catalizador se utiliza normalmente un sólido con propiedades ácidas (zeolitas, sílice-alúminas, etc.). Las ventajas del uso de un catalizador para la obtención de combustibles a partir de residuos plásticos pueden resumirse en los siguientes puntos: reduce significativamente las temperaturas y tiempos de reacción; se obtienen conversiones mayores con temperaturas y tiempos menores en comparación con el craqueo térmico; proporciona un mejor control sobre la distribución de productos en el craqueo de PEBD, PEAD y PP.

La adición de un catalizador mejora la calidad de los productos obtenidos en la pirólisis de residuos plásticos, permite reducir la temperatura de descomposición y, la distribución de productos puede modificarse mediante la selección del catalizador (Fuentes, 2020).

Los catalizadores comerciales que se utilizan en el craqueo catalítico pueden dividirse en tres clases:

1. Aluminio silicatos naturales.
2. Combinaciones de alúmina-silicio sintéticas amorfas.
3. Catalizadores de alúmina-silicio sintéticos cristalinos llamados zeolitas o tamices moleculares.

La mayoría de los catalizadores utilizados en las unidades comerciales hoy en día son catalizadores de la clase (3) o mezclas de las clases (2) y (3).

Las ventajas de los catalizadores de zeolita sobre los catalizadores naturales y los amorfos sintéticos son:

- Actividad más alta
- Rendimientos en nafta mayores para una conversión dada.
- Producción de naftas conteniendo un mayor porcentaje de hidrocarburos parafínicos y aromáticos.
- Producción menor de coque (y por consiguiente un mayor rendimiento, normalmente, para un nivel de conversión dado).
- Posibilidad de conseguir conversiones más altas por paso sin craqueo excesivo.

Los catalizadores ácidos han sido los más empleados en la degradación de materiales plásticos ya que los centros ácidos del catalizador permiten la rotura de los enlaces carbono-carbono que los componen, mediante reacciones de transferencia de hidrógeno.

Las zeolitas son materiales que presentan una notable acidez favoreciendo dichas reacciones de transferencia de hidrógeno, así como ciertos efectos estéricos que permiten la selección de los productos generados.

Mientras la degradación meramente térmica da como resultado un amplio intervalo de productos, la selectividad hacia determinadas fracciones puede incrementarse mediante la utilización de un catalizador adecuado. No obstante, el empleo de catalizadores directamente en contacto con los residuos plásticos presenta una serie de problemas operativos, como su posible desactivación por coquización o envenenamiento provocado por la presencia de heteroátomos tales como Cl, N, S y diversos metales presentes en los residuos plásticos.

Asimismo, la elevada viscosidad de los polímeros plantea problemas operativos en los reactores. Una de las alternativas que se plantean en la actualidad es la utilización de una etapa previa de craqueo térmico seguida de un reformado catalítico de los productos del craqueo térmico.

Por otro lado, estos procesos presentan algunas limitaciones a partir del tiempo de uso y deterioro del rendimiento del catalizador. Por ello se debe tener en cuenta la vida útil del catalizador y la regeneración en el proceso para maximizar su viabilidad económica. De igual manera, la selección del tipo de catalizador debe considerar la heterogeneidad de los residuos plásticos y la presencia de diversos aditivos que pueden variar en tipos y cantidades, según las aplicaciones (Fuentes, 2020)

### **Aplicaciones industriales del proceso de pirólisis**

De acuerdo al informe de Plastics Technology, México (2023), la tecnología de pirólisis existe desde hace tiempo y ahora se está perfeccionando para satisfacer las necesidades de la industria petroquímica.

Un informe publicado en junio de 2022 por Nova-institute, en Alemania, ha identificado más de 60 proveedores de tecnología de pirólisis y la lista sigue creciendo. Muchos están trabajando para mejorar el proceso y minimizar la huella ambiental.

Por ejemplo, se están utilizando catalizadores innovadores para reducir la temperatura del proceso y, por lo tanto, la demanda de energía, así como para reducir el tiempo de procesamiento. También se están realizando avances en el pre-tratamiento de la materia prima de desecho y el tratamiento posterior de los resultados del proceso para mejorar aún más la calidad y la cantidad de la producción.

A nivel internacional Chevron Phillips, Shell, Agylix y Brightmark en USA y Plastic Energy y BASF en Europa se encuentran operando plantas de diferente escala que reciclan plásticos utilizando la tecnología de pirólisis ( Ecoplas 2023)

ChemCycling es el nombre del proyecto de reciclaje avanzado de BASF iniciado en 2018. A través de procesos termoquímicos, los desechos plásticos se descomponen en diversos productos similares a derivados del petróleo o productos gaseosos como materias primas para la industria química. (Ecoplas, 2020).

El proceso ChemCycling™ de BASF de reciclaje químico utiliza la tecnología de pirólisis que convierte los residuos plásticos en una materia prima secundaria llamada aceite de pirólisis. El aceite de pirólisis se incorpora a la producción Verbund de BASF al comienzo de la cadena de valor, lo que reduce el uso de recursos fósiles. Como resultado se obtienen productos certificados que tienen las mismas propiedades que los fabricados a partir de materias primas fósiles. Se pueden continuar procesándolos de la misma forma que los productos fabricados convencionalmente y utilizarlos en aplicaciones exigentes. Las materias primas producidas pueden reemplazar la materia prima fósil en la refinería y usarse para producir nuevos productos, especialmente plásticos. Con la pirólisis, aproximadamente el 70 % de los residuos plásticos mixtos pueden convertirse en materias primas secundarias.

En el proceso propuesto por BASF a través de la pirólisis se obtiene el aceite de pirólisis, que puede ser utilizado por la industria química para elaborar nuevos productos. Una de las ventajas de este proceso es que también puede reciclar corrientes de residuos plásticos mezclados y sucios. Además, los productos fabricados con aceite de pirólisis son indistinguibles de los productos convencionales, por lo que pueden emplearse incluso en las aplicaciones más exigentes. Esto significa que, por primera vez, los componentes para automóviles, los productos sanitarios e incluso los envases de alimentos pueden estar fabricados con este tipo de residuos plásticos.

El desarrollo de catalizadores adecuados para la nueva tecnología de procesos es un aspecto importante de este proyecto. Estos catalizadores tienen como objetivo asegurar que siempre se produzca aceite de pirólisis de alta pureza, incluso cuando varía la composición de los residuos plásticos. Ya se han empezado a manufacturar productos derivados del proyecto ChemCycling: Los primeros productos para clientes producidos con el sistema han incluido **envases de alimentación, componentes de refrigeradores y cajas aislantes**, y fueron manufacturados a escala piloto y probados por los clientes para las aplicaciones correspondientes”,

Un ejemplo de aplicación del proyecto de reciclaje químico ChemCycling es el EcoCart e-180, el **primer carro de supermercado ecológico**, desarrollado por Polycart, totalmente fabricado con plástico postconsumo.

En 2022 BASF lanzó una serie de catalizadores y adsorbentes para reciclaje de plásticos. PuriCycle, se ha desarrollado para eliminar o convertir selectivamente una amplia gama de impurezas en aceites de pirólisis y permitir el procesamiento posterior de flujos circulares de plástico. PuriCycle purifica los aceites de pirólisis, al comienzo de la cadena de valor.

En 2021 BASF, Quantafuel y REMONDIS han firmado un acuerdo de entendimiento para evaluar conjuntamente una cooperación en reciclaje químico que incluye una inversión conjunta en una planta de pirólisis para residuos plásticos.

Los plásticos de aceite de pirólisis pueden alcanzar una calidad 100% idéntica a los

plásticos de origen fósil. Son productos certificados que tienen las mismas propiedades que los fabricados a partir de materias primas fósiles. Esto permite fabricar aplicaciones con altas exigencias de calidad, higiene y rendimiento, por ejemplo, envasado de alimentos o piezas de automóviles.

BASF ha fabricado productos que tienen como base residuos plásticos reciclados químicamente, siendo así, la pionera global en el sector. En la etapa piloto, BASF está desarrollando productos con clientes de diversos sectores, incluyendo empaques para lácteos, estantes para heladeras y paneles de aislamiento térmico.

**Además de complementar el reciclaje mecánico, reduce la huella ambiental de los envases de plástico. Una evaluación del ciclo de vida realizada para BASF6, concluye que el reciclaje avanzado / químico (pirólisis) de residuos plásticos mixtos emite un 50% menos de CO<sub>2</sub> que la incineración de residuos plásticos mixtos.**

### Aplicaciones de la técnica de Pirólisis en Argentina

En la provincia de Río Negro, Argentina se ha avanzado para elaborar aceites de pirólisis a partir de la utilización de residuos plásticos; es un proyecto provincial para generar combustibles alternativos a partir de la reutilización de materiales desechables y con el propósito de lograr una fuente de energía de una manera limpia y económica (Ecoplas, 2020)

En Bariloche, la empresa TresB SRL opera la primera planta de pirólisis en nuestro país donde se valorizan los residuos sólidos urbanos generados en la ciudad. El producto del proceso es un tipo de gasoil con el cual se pueden calefaccionar casas y que tiene la capacidad de utilizarse para alimentar maquinaria pesada como locomotoras. (Ecoplas, 2023)

Por otra parte la Resolución N°220/2023 aprobó el Convenio entre YPF S.A. y el Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires para el desarrollo de una prueba piloto de pirólisis de residuos plásticos. (Ecoplas 2023)

### 7.4.3 Hidrocraqueo o hidrogenación

El hidrocraqueo consiste en la degradación de los polímeros mediante calentamiento en atmósfera de hidrógeno a elevadas presiones y en presencia de catalizadores bifuncionales capaces de promover asimismo la hidrogenación de los productos. Es un tratamiento versátil que permite obtener elevados rendimientos a hidrocarburos líquidos operando a temperaturas entre 300-500 °C. Sin embargo, la necesidad de trabajar con hidrógeno a presiones entre 20 y 100 bares (atm) encarece de manera notable el proceso.

Los catalizadores más habituales son sílice-alúminas o zeolitas impregnadas con metales, que pueden ser, tanto metales nobles, generalmente Pt o Pd, como de transición, siendo los más habituales, en este caso, Ni, Mo, W y Co.

Es un proceso versátil que permite tratar mezclas plásticas y la obtención de hidrocarburos líquidos con rendimientos del 85%. Sin embargo el uso de hidrógeno a

altas temperaturas y presiones es costoso y requiere medidas de seguridad especiales (Aguado y col. 2011).

## 7.5 Despolimerización química o quimiólisis (solvolisis)

De acuerdo al esquema presentado en la Fig 7.2 analizaremos a continuación la despolimerización química o quimiólisis también denominada desintegración catalítica o solvólisis.

El reciclado químico a través del proceso de solvólisis consiste en fragmentar los materiales poliméricos (despolimerización) en moléculas más pequeñas hasta producir monómeros vírgenes. La ruptura de las cadenas poliméricas se realiza mediante la adición de algún un reactivo químico, obteniéndose los monómeros originales u oligómeros (cadenas de menor peso molecular que el polímero original) las cuales se pueden volver a polimerizar, cerrándose así el ciclo. Se busca por lo tanto la obtención de la materia prima (monómeros) de la cual el polímero fue fabricado

En este proceso de quimiólisis el polímero residual se introduce en el reactor de despolimerización en el que se obtienen los monómeros que luego se purifican. Esos monómeros ingresan posteriormente a un reactor de polimerización donde se vuelve a generar el polímero virgen.

La solvólisis o quimiólisis es aplicable a **polímeros de condensación** (poliésteres, nylon y poliuretanos), los cuales tienen grupos funcionales unidos por enlaces débiles que son susceptibles de disociación por ataque con determinados agentes químicos.

Recordemos que las reacciones de condensación resultan de una múltiple combinación de dos monómeros bifuncionales con la eliminación intermolecular de moléculas pequeñas. Lo que caracteriza a los polímeros de condensación es que pierden por ejemplo una molécula de agua o de alcohol durante el proceso de polimerización, a diferencia de los polímeros de adición, los cuales no pierden átomos debido a que son formados a partir de monómeros insaturados (carbonos unidos por dobles ligaduras). El éxito de este tipo de tratamiento depende de la disponibilidad de una materia prima bien definida, que sirva para las diferentes rutas de reciclado químico por solvólisis (Figura 7.5).

El proceso es aplicable a 36 polímeros de policondensación, como el PET, poliamidas, y poliuretanos.

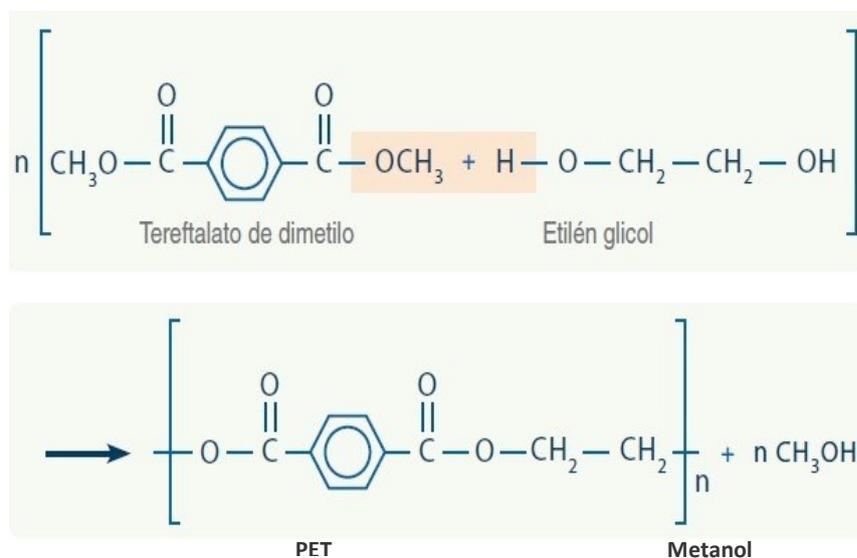
Los **poliésteres**, Son polímeros en los que en cada unidad polimérica se encuentra la función éster. Por ejemplo, el poliéster más conocido es el formado por la policondensación entre tereftalato de dimetilo y etilén glicol del que se obtiene el polímero polietilentereftalato (PET). Como se ha mencionado previamente PET se utiliza para la fabricación de envases para alimentos, botellas de aceite, bebidas gaseosas, etc., y como fibra (Dacrón) para la confección de ropa.

Los poliuretanos forman parte de los llamados polímeros termoestables, estos se caracterizan por tener cadenas poliméricas entrecruzadas, formando una red tridimensional que no funde. Esto los diferencia de los polímeros termoplásticos.

Las técnicas de solvólisis han sido aplicadas en su mayoría al PET, que es un

poliéster y es el polímero de condensación de mayor consumo mundial; al despolimerizarse se pueden recuperar sus monómeros constituyentes (etilenglicol y ácido tereftálico) mediante diversos procesos

La producción de botellas de PET ha experimentado un rápido crecimiento desde 1970 cuando surge el proceso de moldeo por soplado, como consecuencia, la generación de residuo de PET también se ha incrementado. La gran cantidad de residuos de PET y su alta resistencia a los agentes atmosféricos y biológicos hacen que el PET se vea como un material nocivo para el medio ambiente, por tal motivo, y considerando los beneficios económicos así como sus características físicas, químicas y mecánicas, hacen del PET un material interesante de reciclar, además, se han desarrollado diversas aplicaciones para el producto reciclado, tales como elaboración de fibra para su uso en alfombras, cuerdas, relleno térmico o confección de ropa, fabricación de partes para automóviles, elaboración de películas, envases para productos no alimenticios, láminas, fleje, etc. (Lopez Barajas , 2014; Vargas Santillán , 2019)



**Fig 7.5 Proceso de policondensación para la producción de PET (Poliéster). Se elimina metanol en el proceso**

Según el agente utilizado en la solvolisis las vías de tratamiento son: metanólisis, glicólisis e hidrólisis. Otros procesos son la aminólisis o la saponificación, y la amonólisis

En la Fig. 7.6 se muestran los tratamientos aplicados a PET.



**Fig. 7.6 Tecnologías de despolimerización química del PET**

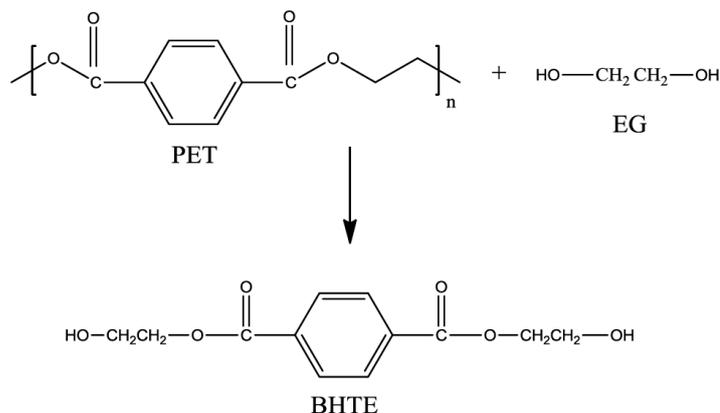
### 7.5.1 Glicólisis

Un método importante en el procesamiento químico de PET es la glicólisis. Este proceso se usa ampliamente a escala comercial. La reacción de glicólisis es la degradación molecular del polímero PET con glicoles, en presencia de catalizadores de transesterificación, principalmente acetatos metálicos, donde los enlaces éster se rompen y se reemplazan con hidroxilo terminales.

La glicólisis de PET se lleva a cabo con mayor frecuencia utilizando etilenglicol, dietilenglicol, propilenglicol y dipropilenglicol etc. El proceso se lleva a cabo en una amplia gama de temperaturas, (180-250) °C, durante períodos de tiempo de 0.5 a 8 h; usualmente se utiliza 0.5%p de catalizador (la mayoría de las veces acetato de zinc) en relación con el contenido de PET. En la reacción de glicólisis por etilenglicol (EG), se usan temperaturas entre 190 y 240 °C, presión (0.1-0.6) MPa.

Uno de los métodos de glicólisis de PET utiliza como catalizadores acetatos de Zn, Mn, Co, Pb, etc. en presencia de carbonato de sodio y sulfato de potasio. El proceso de despolimerización se lleva a cabo a 190°C, con una relación molar EG/PET de 4:1, en un tiempo de aproximadamente 8 horas.

A través de los años, la glicólisis se ha convertido en el proceso más viable en el reciclado químico, debido a que puede ser operado de modo batch o continuo, a pequeña o gran escala con relativamente bajas inversiones de capital. Es el proceso de despolimerización más viable técnica y económicamente para realizar a escala industrial. Cabe señalar que en este proceso no se obtienen las materias primas para volver a polimerizar el PET sino que se obtiene bis-hidroxietilentereftalato (BHTE) y una mezcla de oligómeros de bajo peso molecular que puede utilizarse para la fabricación de poliésteres insaturados, lo que puede presentar un beneficio económico. La figura 7.7 muestra el esquema del proceso de glicólisis del PET



**Fig. 7.7 Esquema del proceso de glicólisis del PET con etilen glicol (EG). Obtención de bis-hidroxietilenteraftalato (BHTE), ester de etilen glicol y ácido tereftálico**

### 7.5.2 Hidrólisis

Los poliuretanos pueden reciclarse mediante hidrólisis en atmósfera inerte a una temperatura de 200-290 °C para obtener una mezcla líquida de polioles y diferentes compuestos aminados. Los polioles pueden recuperarse y volver a polimerizarse, mientras que los compuestos aminados apenas tienen aplicaciones. (Aguado y col. 2011)

La hidrólisis es uno de los métodos más importantes en el procesamiento del residuo PET. Conduce a la recuperación directa de los monómeros de partida mediante el uso de un exceso de agua que promueve la ruptura de los puntos de enlace de las cadenas de los materiales originales. Los principales productos son etilenglicol (EG) y ácido tereftálico (TPA). Existe interés creciente en la hidrólisis para el reciclado químico de PET, ya que es el único método que obtiene como productos de reacción, los monómeros a partir de los que se produce el PET. Esto está asociado con la tendencia en las nuevas fábricas para que la síntesis de PET la produzca directamente de TPA y EG, reemplazando así el terftalato de dimetilo (el monómero) del proceso tecnológico. La principal desventaja de este método es el uso de temperaturas altas(200-250° C) y elevadas presiones (1.4-2 MPa), así como del largo tiempo necesario para la despolimerización completa.

Las ventajas del reciclado químico del PET se centran principalmente en:

- La disponibilidad del enlace éster (característico del PET), a la ruptura;
- El amplio rango de disolventes que promueven la degradación o depolimerización del PET.
- La diversidad de monómeros u oligómeros obtenidos como subproductos y a su vez una variedad productos y aplicaciones potenciales.

Comercialmente, la hidrólisis no se usa ampliamente para producir productos de grado alimenticio del PET reciclado, debido al costo asociado con la purificación del TPA

reciclado. La hidrólisis de PET puede llevarse a cabo como (a) hidrólisis alcalina, (b) hidrólisis ácida y (c) hidrólisis neutra. (Lopez Barajas, 2014; Vargas Santillan, 2019 )

### Hidrólisis alcalina

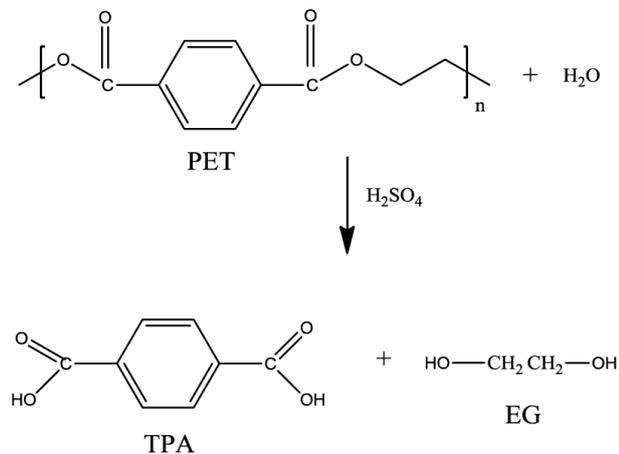
Se usa solución alcalina acuosa de hidróxido de sodio o hidróxido de potasio (a concentración (4-20%p). Es una reacción química que se lleva a cabo durante 3 a 5 horas y temperaturas elevadas entre 210 y 250 °C bajo presión (14-20 atm). Se utiliza como catalizador, bromuro de tributilhexadecil fosfonio en una atmósfera inerte de nitrógeno y agitación constante. El constante desarrollo y adecuaciones a la metodología han permitido reducir los tiempos de reacción y obtener rendimientos más eficientes, alrededor del 93%. Los productos de reacción son EG y la sal de tereftalato de dipotasio o disodio. La mezcla se calienta hasta 340°C para evaporarse y recuperar el EG por destilación. El TPA puro se puede obtener por neutralización de la mezcla de reacción con un ácido fuerte como el ácido sulfúrico (Lopez Barajas, 2014; Vargas Santillán, 2019)

Se ha comprobado que se logran buenos resultados de hidrólisis alcalina de PET utilizando una solución acuosa de amoníaco a 200° C. En este caso, se forma una solución de sal diamónica TPA, a partir de la cual, después de filtración y acidificación con ácido sulfúrico, se obtiene TPA de alta pureza (99% en peso). Además, se investigó la cinética de reacción detallada de la despolimerización de PET en una solución de KOH usando una autoclave presurizado

### Hidrólisis ácida

La hidrólisis ácida se realiza con mayor frecuencia utilizando ácido sulfúrico concentrado (Fig.7.8) aunque otros ácidos minerales como ácido nítrico o fosfórico también se han ensayado (Vargas Santillan, 2019). Con el fin de evitar altas presiones y temperaturas en el reactor, se propuso ácido sulfúrico concentrado (14.5 M). Sin embargo, el proceso se vuelve muy costoso debido a la necesidad de reciclar grandes cantidades de ácido sulfúrico concentrado y la separación del EG. Una desventaja sustancial de hidrólisis de PET por ácido sulfúrico concentrado es la alta corrosividad del sistema de reacción y la generación de grandes cantidades de sales inorgánicas y desechos acuosos. También se propuso utilizar una solución diluida de ácido sulfúrico (<10 M) además de una forma de recuperar el ácido utilizado (Lopez Barajas, 2014), sin embargo, la reacción requiere tiempos prolongados (5 h) además de altas temperaturas (150 °C).

Otro proceso para obtener TPA y EG a partir de botellas PET, usa ácido nítrico (7-13 M) a temperaturas de 70-100 °C por 72 h, en este proceso, realizan simultáneamente la oxidación del EG para generar ácido oxálico, de esta forma le dan un valor agregado al producto obtenido de la despolimerización.



**Fig. 7.8 Hidrólisis ácida del PET (Lopez Barajas, 2014)**

### Hidrólisis Neutra

La hidrólisis neutra se lleva a cabo con agua o vapor. A pesar de esto, el pH de la mezcla posterior llega a 3.5-4.0, que es causado por la formación de TPA monoglicol éster durante la reacción. El proceso generalmente se ejecuta bajo condiciones de presión entre 10 y 40 atm, y 200 a 300° C. La relación en peso de PET al agua es de 1:2 a 1:12. La hidrólisis neutra de PET procede significativamente más rápido en estado fundido que como sólido; por lo tanto, es ventajoso llevar a cabo el reciclaje utilizando este método a temperaturas superiores a 245° C. Se han aplicado catalizadores de transesterificación. Se ha descrito el efecto catalítico con catalizadores de zinc a temperaturas de (250-265) °C y se ha encontrado que el rendimiento es aproximadamente 20% mayor que en el sistema no catalizado. Durante la hidrólisis de PET también se forman monoéster de glicol y el ácido tereftálico como un subproducto. Se disuelve bien en agua a 95-100 °C; a estas temperaturas, el TPA es prácticamente insoluble y se puede separar.

El método de hidrólisis neutra está exento de los inconvenientes característicos de la hidrólisis ácida o alcalina. Se evita la formación de cantidades sustanciales de sales inorgánicas difícil de eliminar; también se eliminan problemas relacionados con la corrosión del equipo debido al uso de ácidos concentrados y álcalis. Una indudable ventaja de hidrólisis neutra es su alta pureza ecológica y, por lo tanto, puede aumentar el interés por esta tecnología. (Lopez Barajas , 2014)

Su inconveniente es que todas las impurezas mecánicas presente en el polímero quedan en el TPA; por lo tanto, el producto tiene una pureza considerablemente menor que el producto de hidrólisis ácido o alcalina. En consecuencia, es necesario un proceso de purificación mucho más sofisticado. Durante la hidrólisis de PET se genera un volumen sustancial de EG diluido, que puede ser recuperado por extracción o por destilación.

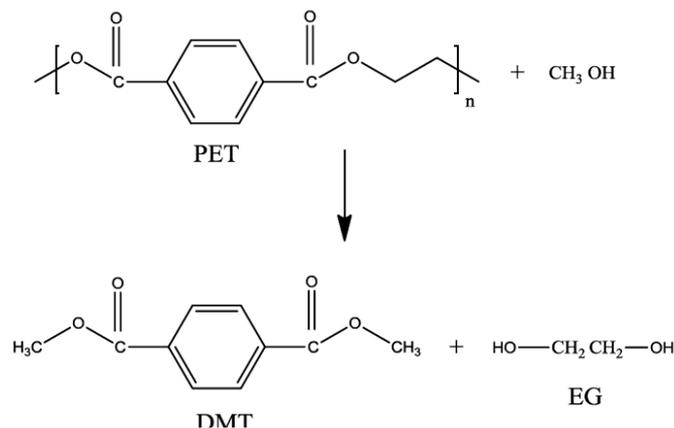
Un proceso efectivo de cinco etapas de hidrólisis neutra de PET para EG y TPA de una pureza requerida para la síntesis de nuevo polímero ha sido patentado por Tustin (1995). El PET es hidrolizado a (200- 280) ° C. Después de enfriarse la mezcla de

reacción a 70-100° C, el producto sólido del proceso se filtra y se seca (25-190) ° C. El EG se recupera del filtrado como resultado de la destilación en dos etapas. El producto sólido de hidrólisis se calienta con agua a (310-370) ° C, y después se obtiene TPA por enfriamiento. La pureza del TPA recuperado y EG permite su aplicación en la producción de homo y copolímeros de alta calidad y no excluye su uso en la fabricación de botellas y fibras. (Vargas Santillán, 2019)

### 7.5.3 Metanólisis

Este proceso consiste en la degradación de PET por metanol a altas temperaturas y altas presiones; bajo estas condiciones los principales productos de la metanólisis del PET son tereftalato de dimetilo (DMT) y etilenglicol (EG), que son las materias primas necesarias para la producción de este polímero. Se utilizan catalizadores como trisopropóxido de aluminio, acetato de zinc y sales de ácido arilsulfónico. La reacción de la metanólisis se lleva a cabo a presiones de 2-4 MPa y temperaturas de 180-280 °C. La degradación del polímero tiene lugar con la liberación de EG.

Posteriormente la reacción es enfriada y el DMT se recupera vía precipitación, centrifugación y cristalización y se utiliza para producir nuevamente PET. Después de la terminación de la reacción, es necesario desactivar el catalizador. Es una metodología que se ha aplicado con buenos resultados a botellas residuales, residuos de fibras, películas de post-consumo. El metanol recuperado es reutilizado. Presenta como limitante el alto costo de separación y refinamiento de los productos de reacción (glicoles, alcoholes y ftalatos) y además el agua residual presente, contamina el proceso y daña el catalizador (Vargas Santillan, 2019)



**Fig. 7.9 Esquema de la reacción de metanólisis del PET (Lopez Barajas , 2014)**

Una de las ventajas de este método es que puede ser instalado directamente en la línea de producción, ya que el DMT obtenido por metanólisis es de calidad idéntica a la del DMT virgen. Sin embargo, la principal desventaja radica en la actual tendencia de producir PET a partir de TPA en lugar de DMT, por lo que convertir DMT a TPA añade un costo considerable en el proceso de metanólisis. (Lopez Barajas , 2014)

#### 7.5.4 Amonólisis

Este método consiste en hacer reaccionar el PET con amoníaco anhidro a temperaturas entre 70 y 180 °C, generalmente bajo presión y en un ambiente de etilenglicol, con la obtención de una tereftalamida. La reacción se realiza a temperatura 120-180 °C y 2 MPa por un tiempo de 1-7 h. Finalmente la amida se purifica y se obtienen rendimientos del 90 % con pureza de hasta el 99 %. Al completar la reacción, la amida producida se purifica, debe ser filtrada, tratada con agua y secada a una temperatura de 80 °C. El producto tiene una alta pureza con un rendimiento superior al 90 %.

#### 7.5.5 Aminólisis

En el caso de reciclaje químico por aminólisis, el PET se hace reaccionar con diferentes aminas en solución acuosa (metilamina, etilamina y etanolamina) para obtener las correspondientes diamidas de TPA y EG. Este proceso no se utiliza comercialmente, sin embargo se sabe que la aminólisis parcial mejora las propiedades de las fibras de PET (Lopez Barajas, 2014)

#### 7.5.6 Desarrollo de procesos industriales de despolimerización

Los principales procesos de despolimerización de PET que han alcanzado un mayor grado de aceptación comercial hasta ahora son los procesos de **glicólisis y metanólisis**. Se siguen realizando mejoras y adecuaciones diversas. Dentro de los retos que se enfrentan se plantea el poder ofrecer de forma eco-sustentable reciclar químicamente el PET, mediante el desarrollo de catalizadores eficientes y altamente selectivos que puedan recuperarse y reutilizados

Metanólisis y glicólisis para el reciclado de PET han sido desarrolladas por diversas empresas como DuPont, Hoechst Celanese, Eastman Chemical y Shell Chemical.

Los procesos de metanólisis y glicólisis eliminan impurezas de los plásticos y los compuestos obtenidos se pueden utilizar para la fabricación de artículos con restricciones de calidad como los de envasado de alimentos

DuPont e Eastman han demostrado que los monómeros resultantes del reciclado químico son lo suficientemente puros para ser reutilizados en la fabricación de nuevas botellas de PET.

A nivel comercial, el proceso UNPET20 es el principal proceso hidrolítico de despolimerización de PET. Utilizando hidróxido de sodio como catalizador, se consiguen elevados rendimientos en etilenglicol y tereftalato disódico. Se trata de un proceso sencillo y de bajo costo que se comercializa en USA y en Europa

El Instituto Francés del Petróleo y la compañía Technochim Engineering desarrollaron el proceso RECOPET, que es un proceso en tres etapas: saponificación a presión atmosférica con recuperación de etilenglicol; purificación de los tereftalatos en soluciones acuosas y precipitación del ácido tereftálico mediante acidificación. Este proceso permite obtener ácido tereftálico de buena calidad con costos moderados.

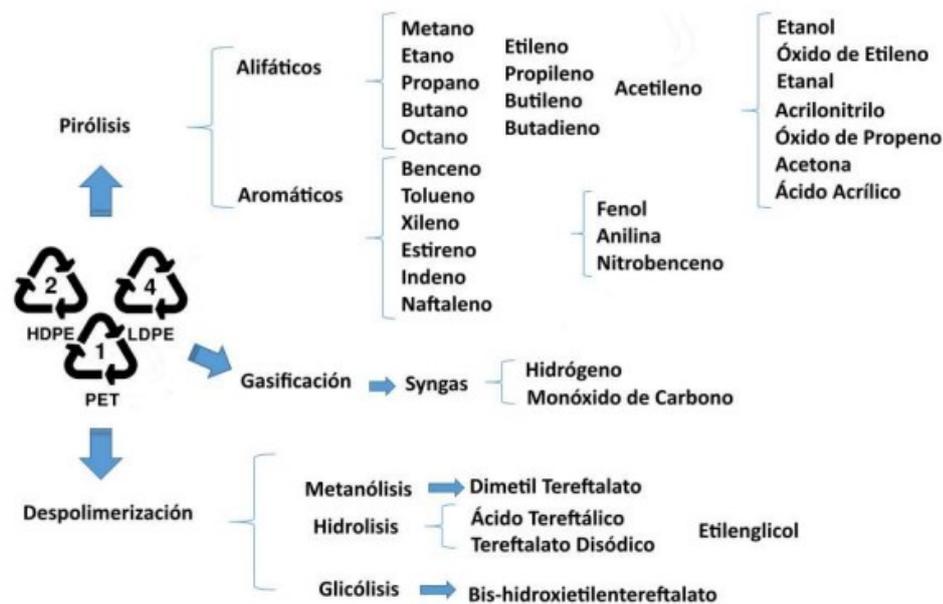
(Aguado y col, 2011)

Muchas compañías emplean la glicólisis de PET a escala industrial. En este proceso se emplea etilenglicol para despolimerizar el PET hasta cadenas de 2 a 10 monómeros de longitud que posteriormente se repolimerizan con material virgen en una proporción del 25% de material reciclado.

Se pueden citar como ejemplos comerciales el de la organización PETCORE (PET Containers Recycling Europe), el proceso ECOJET® (de la empresa japonesa Teijin Ltd.), o los de las empresas Eastman Chemical Company y DuPont en E.U.A., y Lurgi Zimmer en Alemania

Eastman planea invertir hasta US\$1000 millones para establecer una planta de despolimerización de 160000 toneladas métricas en Francia, que se espera que esté operativa para 2025.

En la figura 7.10 se muestran los diferentes productos que se obtienen a partir de los procesos de reciclado químico



**Fig. 7.10 Diferentes productos, obtenidos a partir de diversos procesos de reciclado químico**

## 7.6 Reciclado enzimático de plásticos

En esta tecnología se utilizan enzimas que rompen la cadena de PET y liberan los monómeros que se utilizan para la producción de nuevas cadenas de polímeros. Esta tecnología está siendo aplicada en Lyon, Francia por la empresa Carbios desde el año 2021. En esta tecnología de Carbios los monómeros resultantes del proceso de despolimerización se purifican para ser repolimerizados en un PET de calidad equivalente al PET virgen obtenido de la industria petroquímica. El proceso permite reciclar estos materiales, ya sean transparentes, opacos, complejos o de origen textil (poliésteres), para producir nuevos materiales.

Esta tecnología de reciclado enzimático para PET, la primera de su tipo en el mundo, fue reconocida recientemente en un artículo científico publicado en la prestigiosa revista Nature. El artículo, titulado “Una PET-despolimerasa diseñada para descomponer y reciclar botellas de plástico”, fue escrito por los equipos científicos de Carbios y del Instituto de Biotecnología de Toulouse (TBI).

En 2019, esta tecnología enzimática de reciclaje de plásticos PET se encontraba entre las primeras innovaciones en sumarse a la selección de las 1.000 soluciones sostenibles y competitivas certificadas por la Fundación Solar Impulse. Esta etiqueta se otorga a innovaciones que combinan criterios de viabilidad técnica, impacto social y ambiental positivo y viabilidad económica.

Por otro lado ACLIMA, España 2022 ha reportado que investigadores del Instituto de Biotecnología de Manchester (MIB), en Reino Unido, han desarrollado una nueva plataforma de ingeniería enzimática para mejorar las enzimas que degradan el plástico. Para ilustrar la utilidad de su plataforma, han creado una enzima capaz de degradar con éxito el tereftalato de polietileno (PET), que se utiliza habitualmente en las botellas de plástico.

En los últimos años, el **reciclado enzimático de plásticos** ha surgido como una estrategia atractiva y respetuosa con el medio ambiente para ayudar a paliar los problemas asociados a estos residuos. Aunque existen varios métodos para reciclar plásticos, las enzimas podrían ofrecer una alternativa más rentable y energéticamente eficiente. Además, podrían utilizarse para descomponer selectivamente componentes específicos de flujos de residuos plásticos mixtos que con las tecnologías actuales son difíciles de reciclar.

Sin embargo, aunque se trata de una tecnología prometedora, hay que superar considerables obstáculos para que el reciclaje enzimático de plásticos se utilice ampliamente a escala comercial. Uno de ellos es que las enzimas naturales capaces de descomponer los plásticos suelen ser menos eficaces e inestables en las condiciones necesarias para un proceso a escala industrial.

Para hacer frente a estas limitaciones, en un artículo publicado en Nature Catalysis, investigadores de la Universidad de Manchester han presentado una nueva plataforma de ingeniería enzimática que puede mejorar rápidamente las propiedades de las enzimas que degradan los plásticos para ayudar a hacerlas más adecuadas para el reciclaje de plásticos a gran escala. Su plataforma integrada y automatizada puede evaluar con éxito la capacidad de degradación del plástico de unas 1.000 variantes de enzimas al día.

Los investigadores quieren mejorar las propiedades de las enzimas que degradan el plástico; buscan que la plataforma escalable permita desarrollar rápidamente **enzimas nuevas y específicas** que sean adecuadas para su uso en procesos de reciclaje de plástico a gran escala. Para probar su plataforma, pasaron a desarrollar una nueva enzima, la HotPETasa, mediante la evolución dirigida de la IsPETasa. La IsPETasa es una enzima recientemente descubierta y producida por la bacteria *Ideonella sakaiensis*, que puede utilizar el PET como fuente de carbono y energía. Sin embargo, aunque la IsPETasa tiene la capacidad natural de degradar algunas formas

semicristalinas de PET, la enzima es inestable a temperaturas superiores a 40°C, muy por debajo de las condiciones de proceso deseables. Esta baja estabilidad significa que las reacciones deben llevarse a cabo a temperaturas inferiores a la temperatura de transición vítrea del PET (~65°C), lo que conduce a bajas tasas de despolimerización. Para hacer frente a esta limitación, el equipo desarrolló una enzima termoestable, la HotPETase, que es activa a 70°C, que está por encima de la temperatura de transición vítrea del PET. Esta enzima puede despolimerizar el PET semicristalino con mayor rapidez que las enzimas descritas anteriormente y puede degradar selectivamente el componente de PET de un material de envasado laminado, lo que pone de manifiesto la selectividad que puede lograrse mediante el reciclaje enzimático. El desarrollo de enzimas degradadoras de plástico robustas como HotPETase, junto con la disponibilidad de una plataforma de ingeniería enzimática versátil, supone una importante contribución al desarrollo de una solución biotecnológica para los residuos plásticos.

Para hacer avanzar esta tecnología será necesario un esfuerzo multidisciplinar y de colaboración en el que participen biotecnólogos, ingenieros de procesos y científicos especializados en polímeros de toda la comunidad académica e industrial.

## 7.7 Aprovechamiento de residuos plásticos por recuperación energética

La recuperación energética es un proceso de valorización de los plásticos en donde se extrae y aprovecha la energía contenida en los materiales (ECOPLAS, 2023)

El plástico es un excelente combustible, es una idea interesante desde la perspectiva de recuperación de energía de los materiales plásticos, los cuales poseen un elevado poder calorífico (PE, 43 MJ/kg; PP, 44 MJ/kg; PS, 40 MJ/kg; PVC, 20 MJ/kg.) en comparación con el petróleo (42.3 MJ/kg) (Arandes y col. 2004; Al Salem y col. 2009). Poder calorífico es la cantidad de energía que pueden extraerse de un kilogramo de una determinada sustancia. Téngase en cuenta a los fines comparativos que la madera seca tiene un poder calorífico de 20 MJ/kg; el carbón 25 MJ /kg; los residuos plásticos en promedio 35 MJ/kg; papel y cartón 17,5 MJ /kg.( MJ= Megajoule)

***La recuperación energética es un proceso adecuado para plásticos no reciclables, degradados o sucios. Debe tenerse en cuenta que la valorización energética debe hacerse en plantas especiales. En dichas plantas de valorización con recuperación de energía de los residuos plásticos se realiza una combustión controlada.*** La energía extraída se utiliza para generar electricidad, vapor de agua o calor que se aplica a procesos industriales (ECOPLAS, 2023)

Luego de extraer el calor, los gases de combustión deben ser purificados utilizando sistemas de limpieza de alta tecnología. De este modo, se evitan emisiones nocivas a la atmósfera siguiendo las más estrictas reglamentaciones ambientales. La valorización energética permite reducir el volumen de los residuos en un 85-90%.

Debe dejarse en claro que el proceso de valorización energética no es Incineración común.

La incineración es un proceso de tratamiento térmico de residuos mediante oxidación completa y a temperaturas superiores a 850°C y su transformación en una corriente

gaseosa. La incineración de los residuos es una práctica extendida en regiones donde existe una inadecuada gestión de residuos sólidos urbanos y la gente desecha la basura en basurales a cielo abiertos, baldíos o sitios del medio ambiente. La quema de residuos es ilegal y se realiza con el único propósito de disminuir el volumen de los materiales acumulados sin que se aproveche la energía liberada ni exista control alguno sobre el proceso. (ECOPLAS 2023). La valorización energética permite reducir el volumen de los residuos en un 85-90%.

La recuperación energética, se realiza en hornos apropiados con aprovechamiento de la energía producida. La presencia de retardantes de llama (compuestos organobromados que tienen un efecto inhibitor en la combustión de materiales orgánicos actuando como reductores de la inflamabilidad de los productos) complica los aspectos técnicos de la recuperación de energía.

Varias preocupaciones ambientales están asociadas con los residuos plásticos principalmente la emisión de ciertos contaminantes del aire como CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>. También se sabe que la combustión de los residuos plásticos genera compuestos orgánicos volátiles (COV), humo (partículas), metales pesados unidos a partículas, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), dibenzofuranos policlorados (PCDF) y dioxinas.

Se han identificado sustancias cancerígenas (HAP, nitro-HAP, dioxinas, etc.) en partículas en el aire por incineración o combustión de polímeros sintéticos como PVC, PET, PS y PE.

Las plantas modernas de aprovechamiento energético de residuos tienen el potencial de emitir bajos niveles de contaminantes tóxicos como dioxinas, gases ácidos y metales pesados ya que emplean lavadores, precipitadores y filtros sofisticados para capturar estos compuestos. Sin embargo, existen preocupaciones, ya que **estas tecnologías son útiles siempre y cuando las plantas de combustión funcionen de forma adecuada y se controlen las emisiones.**

A algunos expertos les preocupa que los países sin legislación medioambiental o sin un cumplimiento estricto de la ley intenten ahorrarse dinero en la parte del control de emisiones. Además, también está la producción constante de gases de efecto invernadero por la incineración

La captura y eliminación de gases de combustión en procesos térmicos (en general) y de combustión (en particular) es un problema importante que se aborda mediante (i) adición de amoníaco a la cámara de combustión, (ii) enfriamiento de gases de combustión, (iii) neutralización de ácidos, (iv) adición de carbón activado y / o (v) filtración. (Al Salem y col., 2009)

La combustión debe estar sujeta a fuertes controles medioambientales, para neutralizar los residuos sólidos y los efluentes gaseosos (como cloruro de hidrógeno de la combustión del PVC). Este tipo de instalaciones son técnicamente complejas y están diseñadas y explotadas de acuerdo a requisitos legales muy estrictos

Se trata de una tecnología de tratamiento de residuos ampliamente contrastada y de elevada fiabilidad. Para obtener los resultados requeridos en la Directiva 2008/98 las infraestructuras de valorización energética deben aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia energética} = (E_p - (E_f + E_i)) / (0,97 \cdot (E_w + E_f))$$

donde: **E<sub>p</sub>** es la energía anual producida como calor o electricidad, que se calcula multiplicando la energía en forma de electricidad por 2,6 y el calor producido para usos comerciales por 1,1 (GJ/año). **E<sub>f</sub>** es la aportación anual de energía al sistema a partir de los combustibles que contribuyen a la producción de vapor (GJ/año). **E<sub>w</sub>** es la energía anual contenida en los residuos tratados, calculada utilizando el poder calorífico neto de los residuos (GJ/año). **E<sub>i</sub>** es la energía anual importada excluyendo E<sub>w</sub> y E<sub>f</sub> (GJ/año). **0,97** es un factor que representa las pérdidas de energía debidas a las cenizas de fondo y la radiación.

Esta fórmula se aplica de conformidad con el documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para la incineración de residuos. En el caso que en la operación de valorización una planta no consiguiera la eficiencia requerida por la normativa, su labor será clasificada como eliminación -similar al depósito en vertedero-, y no de valorización

### 7.7.1 Caso de Análisis: Descripción de un proceso de incineración con recuperación energética aplicado a envases plásticos en una planta modelo

En la planta modelo reportada por SOGAMA (Sociedade Galega do Medio Ambiente A Coruña, España), los envases que constituyen los residuos se reciben en la planta y los residuos pasan por una primera criba en la que tiene lugar una selección de los mismos según su volumen. Los envases se separan según sean planos o rodantes (ligeros o pesados). Una vez clasificados pasan a nuevos filtros, al mismo tiempo un potente electroimán extrae las fracciones férricas. Las bolsas de la basura y los envoltorios plásticos se recogen a través de unos grandes aspiradores. En este proceso, también se separan el papel y el cartón.

A continuación, en el circuito de selección, el material en movimiento se somete a una nueva separación, separándolo en materiales plásticos y no plásticos. Un lector óptico selecciona y separa los envases de cartón tipo briks. También se separa la fracción de aluminio de los residuos. A continuación, pasan a una cabina donde se comprueba la calidad de la selección de los materiales plásticos. Los envases ligeros o aplanados son separados de nuevo, utilizando un lector óptico que permite identificar al momento los productos o separar. Los envases se clasifican según sean PET o HDPE, el resto de los plásticos son recuperados como una mezcla. De los materiales no plásticos, se extraen los restos de briks mediante un nuevo lector óptico y los rechazos de la planta automatizada de clasificación de envases ligeros son conducidos hasta la planta de elaboración de combustible. Con el material seleccionado, agrupado según su tipo de composición, se procede al embalaje para ser remitidos a los correspondientes centros recicladores específicos, donde serán usados como materia prima para producir nuevos productos.

En la planta de recuperación para la elaboración de combustible, el objetivo es la fabricación de CDR (combustible derivado del petróleo) a partir de los desechos no reciclables. Los residuos se trituran hasta alcanzar un tamaño adecuado, y se extraen los fragmentos de vidrio, cerámica, etc., que puede contener el CDR. Esta separación se lleva a cabo mediante mesas densimétricas. Los vapores de secado se depuran por medio de ciclones y torres de lavado de gases antes de volver a la atmósfera. Las tres fracciones: gruesa, fina y muy fina, se unen al final de cada uno de sus procesos, constituyendo lo que se denomina el “CDR” que alimenta las calderas de la planta termoeléctrica. La planta termoeléctrica consta de dos calderas de lecho fluido circulante en las que se pone en contacto una arena en fluidificación a alta temperatura con el CDR para facilitar una combustión de alta eficiencia. Los gases de salida del horno, ceden su calor al vapor que circula por el interior de los tubos que forman los paquetes de sobre- calentadores de la caldera. En estos, el vapor alcanza la temperatura adecuada para ser aprovechado en una turbina que mueve a su vez un alternador para producir energía eléctrica de aproximadamente 50 MW. El horno se mantiene a una temperatura superior a 850°C y en presencia de un 6% de oxígeno, con el objeto de asegurar la destrucción de dioxinas y furanos. El vapor que sale de la turbina se enfría en un condensador con capacidad para 162 t/h. El agua se enfría por medio de 5 torres de tiro forzado. Esta agua condensada se aspira por medio de 3 bombas de condensado que la llevan hasta un desgasificador y posteriormente es almacenada. Los gases procedentes de la combustión de las calderas pasan por un sistema de tratamiento semiseco con adición de cal hidratada y carbón activo para su depuración.

En un reactor se produce la neutralización de los compuestos contaminantes para a continuación, ser retenidos en los filtros de mangas. El ciclo de producción energética se cierra con la recogida de los residuos del horno, que son materiales de dos tipos: escorias y cenizas. Las escorias se almacenan en un vertedero, acompañadas por los inertes separados en la planta de elaboración de combustible. Se trata en su mayor parte de materiales como vidrio, piedras o cerámicas. Por su parte, las cenizas resultantes de la combustión, están catalogadas por la legislación como residuo peligroso, por lo que son envasadas en sacos de protección de 1 tonelada, totalmente impermeabilizadas. Estos sacos se almacenan en un depósito controlado. Por otro lado, la planta de cogeneración tiene un doble objetivo; por una parte, producir energía eléctrica y por otra, el calor residual de los gases de salida se aprovecha en los secadores rotatorios de la planta de reciclaje, tratamiento y elaboración de combustible. La planta de cogeneración consta de 6 motores productores de electricidad, alimentados por gas natural, con capacidad para producir 22 MW.

### **7.7.2 Importancia de la recuperación energética**

Las plantas de combustión con recuperación de energía contribuyen a combatir el calentamiento global. De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, se evita aproximadamente la emisión de una tonelada de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) por cada tonelada de los RSU tratados en las plantas de combustión con recuperación de energía. Además, se evitan emisiones de gas metano de los rellenos sanitarios, dichas emisiones tienen 23 veces más efecto invernadero

que el dióxido de carbono. (ECOPLAS 2023)

En Argentina la NORMA IRAM 18605 “Envases y embalajes y el medio ambiente. Recuperación de energía” establece los parámetros básicos para el uso de los envases y embalajes posconsumo para la recuperación energética.

### 7.7.3 ¿Qué plásticos se utilizan para recuperación energética?

En las etapas de valorización post-consumo de los plásticos dentro del flujo de una economía circular, es prioridad su reciclado para aprovechar la totalidad del material. Los plásticos de difícil reciclaje y que pueden ser enviados a centros de recuperación energética son los siguientes (ECOPLAS 2023)

- Plásticos con alto contenido de suciedad. Aquellos con restos de alimentos y otras sustancias orgánicas y cuyo reciclaje insumiría una gran cantidad de agua, creando una importante huella hídrica.
- Plásticos asociados a otros materiales. Este es el caso donde los plásticos aparecen asociados a materiales celulósicos (caso del polipapel) y en los que la separación para el reciclado demandaría mucha energía y equipos especiales.

### 7.7.4 La recuperación energética a nivel internacional y en Argentina

Según el reporte de ECOPLAS (2023), Europa es una de las regiones que más energía produce a partir de los residuos sólidos urbanos, con 492 plantas. Un 28% de dichos residuos se utilizan para combustión con generación de energía. Se aprovecha la energía integralmente, es decir, en forma eléctrica y en forma de calor, con calor residual del vapor y el agua que sale de las turbinas luego de generar energía eléctrica.

Japón es el país que tiene la mayor experiencia en el tema de recuperación energética de RSU debido a que, por sus condiciones geográficas, posee escasos recursos para producir energía y poca superficie para destinar a rellenos sanitarios.

Estados Unidos, tiene actualmente, 86 instalaciones en 25 Estados que recuperan energía de la combustión de los residuos sólidos municipales. Tienen la capacidad de producir 2.720 Megavatios de energía por año al procesar más de 28 millones de toneladas de residuos.

En Argentina esta tecnología no es utilizada aún, pero la industria plástica la considera como una estrategia que es utilizada en el mundo que permite extraer recursos de los residuos, sustituir el consumo de combustibles fósiles y disminuir el volumen de residuos que se envían a rellenos sanitarios.

Debe insistirse en el concepto que esta estrategia debe limitarse a aquellos residuos plásticos que no puedan ser reciclados por cuestiones operativas o económicas.

## 7.8 Otras formas de aprovechamiento de los residuos plásticos su utilización como combustible en altos hornos y cementeras

Para los residuos plásticos que no se pueden reciclar o hacerlo resulta muy difícil existen otras formas de aprovechamiento, que se describen a continuación.

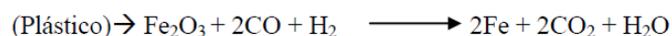
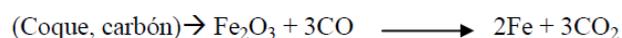
Las dioxinas y furanos, son compuestos químicos tóxicos organoclorados (con diferentes grados de cloración) que aparecen en procesos de incineración de desechos con compuestos aromáticos. Están formados por anillos bencénicos en cuyos radicales se insertan oxígenos y cloros. Ello da lugar a un sinnúmero de isómeros de los cuales algunos son extremadamente tóxicos. Debe tenerse en cuenta que un nivel térmico que asegure una temperatura mayor de 800°C durante un tiempo de residencia de al menos 2 segundos garantiza la destrucción de dioxinas y furanos (Sarrazin, 2018).

### 7.8.1 Uso de residuos plásticos como agentes reductores en altos hornos

Uno de los tratamientos de residuos plásticos más sencillos y que ya se ha implantado a escala industrial es el uso de estos residuos como agentes reductores para la producción de hierro en altos hornos. Los plásticos contienen una relación H<sub>2</sub>/C superior a la del carbón o el aceite mineral y su gasificación da lugar a un gas de síntesis rico en hidrógeno, que le confiere una mayor capacidad de reducción.

A continuación, se muestran en forma comparativa las reacciones de reducción del óxido de hierro cuando se utiliza carbón y cuando se utiliza plástico como agentes reductores.

Cuando se emplea plástico, el hidrógeno contribuye a la reacción de reducción, disminuyéndose la cantidad de CO<sub>2</sub> generada en, aproximadamente, un 30% en comparación con la cantidad obtenida empleando coque o carbón. (Aguado y col. 2011)



En Europa, la empresa siderúrgica Voestalpine utiliza como agente reductor en sus altos hornos de Linz (Austria) los plásticos residuales que le proporciona la empresa AVE, dedicada a la gestión de residuos municipales e industriales. Para la producción de una tonelada de metal fundido se requiere el uso de alrededor de 370 kg de coque y unos 90 kg de aceites pesados, que pueden sustituirse parcialmente por residuos plásticos. Con este proceso se pueden llegar a gestionar hasta 220.000 toneladas de residuos plásticos al año.

En Japón, la empresa Nippon Steel alimenta a sus altos hornos desde el año 2000 con residuos plásticos provenientes de envases y embalajes.

Los residuos plásticos se peletizan, se mezclan con carbón y se introducen en hornos de coquización donde se someten a elevadas temperaturas (1100-1200 °C) sin aporte

de oxígeno. La descomposición térmica de esta mezcla da lugar a hidrocarburos líquidos y gaseosos y coque. El coque se utiliza como agente reductor para la obtención del acero.

Existen otros procesos similares al de Nippon Steel que consiguen coque de buena calidad con diferentes mezclas de plásticos. Los residuos plásticos también se han empleado en hornos de arco eléctrico con buenos resultados (Aguado y col., 2011)

### 7.8.2 Uso de residuos plásticos en la industria cementera

Los plásticos post-consumo también se emplean como combustibles alternativos en los hornos especiales de alta temperatura donde se prepara el cemento. En este proceso, denominado co-procesamiento, se aprovecha el elevado poder calorífico de los plásticos, contribuyendo al cuidado ambiental a través de la valorización de residuos y del ahorro de recursos naturales. Esta técnica se aplica en Europa, Japón y Estados Unidos.

El **coprocesamiento** es una buena opción para la gestión de residuos. Utiliza la óptima mezcla de materiales usados como plásticos, maderas, llantas, líquidos, lodos de proceso y empaques para crear un combustible alterno. En el coprocesamiento, la parte combustible de los residuos proporciona la energía necesaria para el proceso de fabricación de clinker (una materia prima del cemento).

La ventaja de este proceso es que acepta todo tipo de residuos plásticos como fuente alternativa de combustible

En Argentina está vigente la NORMA IRAM 29600 “Co-procesamiento en la industria cementera” cuyo objetivo es establecer los lineamientos básicos para el co-procesamiento en la industria cementera de combustibles y materiales alternativos (CMA) provenientes de residuos y subproductos

Ecoplas (2023) en su informe reporta que en Argentina existen plantas que producen combustibles alternativos para la industria del cemento y que usan plásticos:

RECYCOMB SA es una empresa del grupo cementero Intercement y Loma Negra cuya planta está en el partido de Cañuelas, Provincia de Buenos Aires.

GEOCYCLE SA, que pertenece al grupo Holcim, valoriza plásticos, entre otros combustibles, y está ubicada en Malagueño, Provincia de Córdoba.

ARCILLEX SA, ubicada en José León Suárez, Gran Buenos Aires.

En 2022, estas empresas revalorizaron un total de 25.000 toneladas de residuos plásticos post-consumo en sus plantas.

## 7.9 Comentarios finales

La reutilización, el reciclado y el uso de material reciclado son elementos clave para el desarrollo de un futuro más circular y sostenible. Por ello, el reciclado químico se posiciona como una tecnología de gran proyección y necesaria para incrementar los porcentajes de plástico reciclado.

Importantes empresas multinacionales del sector petroquímico, productoras de plásticos en Europa y Estados Unidos, están llevando a cabo pruebas a escala piloto produciendo diversas materias primas para fabricar productos plásticos de alta calidad que, incluso, pueden estar en contacto con alimentos. Asimismo, están trabajando en el marco regulatorio y de reglamentación para cumplir con los objetivos del reciclado en la economía circular (Ecoplas, 2020)

A nivel internacional, son varias las empresas y grupos de investigación que dedican esfuerzos en desarrollar procesos de reciclado químico alternativos y adecuados, para la recuperación de polímeros de materiales multicapa. Cuando se utilizan plásticos para el reciclaje químico se obtienen principalmente dos tipos de productos: combustibles (aceite) o un material de alto valor que puede utilizarse como materia prima (polímero, monómero, aromático, etc.). La segunda opción se considera la más deseable, ya que permite cerrar el ciclo, mientras que los combustibles solo permitirán un ciclo de vida secundario a través de la recuperación de energía. Si bien los procesos de reciclado químico aún están en desarrollo y existen algunas inquietudes acerca de ellos, como la capacidad de ampliación, la viabilidad económica, el impacto ambiental y el sistema logístico requerido (entre todas las etapas involucradas desde la recolección de residuos hasta la salida del producto), se espera que en el futuro este tipo de reciclado se convierta en una solución factible.

Debe tenerse en cuenta que el reciclado químico se ocupa de los residuos plásticos que no pueden reciclarse mecánicamente por razones técnicas o económicas, y ofrece una solución para los residuos plásticos que están más contaminados o que están fabricados a partir de múltiples materiales. Por lo tanto, es una solución complementaria al reciclaje mecánico tradicional, ya que puede usarse para procesar una gama más amplia de desechos plásticos que actualmente no son aptos para el reciclaje mecánico.

Además, el reciclaje químico supera algunos de los desafíos de calidad a los que se enfrenta el reciclaje mecánico, ya que puede producir los productos químicos básicos necesarios para crear envases aptos para alimentos de alta calidad. De esta manera supera los problemas relacionados con el olor, el color/aspecto, la funcionalidad limitada (en términos de aplicación) y la calidad del contenido reciclado. El material obtenido a través de reciclado químico es comparable en propiedades a los materiales vírgenes y, por lo tanto, es probable que se integre en los envases de calidad alimentaria.

El reciclado químico es hoy una tecnología existente, sin embargo, necesita ser aún escalada. Actualmente varias compañías han trabajado a lo largo de la cadena para probar los procesos de reciclado químico, incorporando contenido de plástico reciclado químicamente en aplicaciones de alto valor, que incluyen aplicaciones en contacto con alimentos.

ExxonMobil anunció en febrero de 2022 que ha completado su primera venta comercial de lo que ha llamado “polímeros circulares certificados”, usando su tecnología Exxtend de reciclaje avanzado de desperdicios plásticos. Berry Global es el comprador, y usará los polímeros circulares para la fabricación de empaques de grado alimenticio.

ExxonMobil tiene actualmente la capacidad de reciclar por esta vía 30 mil toneladas métricas de desperdicios plásticos anuales. Para el año 2026, planea incrementar su capacidad de reciclaje avanzado hasta 500 mil toneladas métricas.

BASF ha sido uno de los pioneros en reciclaje químico con su proceso ChemCycling, a través del cual transforma residuos de plásticos en aceite de pirólisis. Actualmente la compañía trabaja con algunos socios para desarrollar la tecnología de pirólisis, enfocándose en residuos plásticos que no están siendo reciclados mecánicamente por razones tecnológicas, económicas o ecológicas.

Covestro ha trabajado en el reciclaje químico de poliuretanos y otros termoestables, que no pueden ser reciclados mecánicamente. En este caso, se ha recuperado el poliuretano de colchones. Actualmente en el proyecto trabajan 22 compañías en investigación.

Repsol ha puesto muchos recursos en marcha para la búsqueda de nuevas soluciones para impulsar la Economía Circular y promover que una gran cantidad de residuos plásticos, que actualmente van a vertedero, sean transformados en nueva materia prima para sus procesos petroquímicos usando procesos de pirólisis.

## 7.10 Conclusiones

Hay muchos estudios académicos que delinear estrategias generales para el reciclado químico de polímeros hidrolizables como el PET y polímeros no hidrolizables como las poliolefinas. Estos estudios sugieren que la transformación química de los plásticos de desecho en productos químicos de valor agregado puede ser una vía conveniente para complementar los procesos de reciclado. Los esfuerzos industriales para comercializar procesos de reciclado químico de desechos plásticos revelan cuestiones más complejas de separación y purificación asociadas con flujos de desechos del mundo real, desde desechos plásticos mixtos hasta sistemas multicomponentes de metal y plástico y desechos municipales de espectro completo. A pesar de la complejidad del problema, al adaptar inteligentemente catalizadores, solventes, etapas de temperatura, tiempos de residencia y materia prima inicial, se han logrado rendimientos muy buenos de los productos deseados (monómeros, gases, aceites y sólidos).

Los esfuerzos continuos deben centrarse en los catalizadores para mejorar la eficiencia general y reducir la temperatura para ir disminuyendo así las demandas energéticas de los procesos de reciclado químico. El estado actual del reciclado químico de residuos plásticos promete convertirse en uno de los principales procesos en los que se puede reducir eficientemente la cantidad de residuos en los vertederos.

De acuerdo a Plastics Europe (2023) la producción mundial de plásticos reciclados siguió aumentando en 2022, alcanzando los 35,5 millones de toneladas, lo que equivale al 8,9% de la producción mundial de plásticos. Cabe destacar que Europa representa el 21% de la producción mundial de plásticos reciclados.

El reciclaje químico es esencial para producir suficientes plásticos reciclados de alta calidad para aplicaciones complejas o con altos requisitos de seguridad, como las de contacto con alimentos, o las destinadas a los sectores de la automoción y de la

construcción-edificación. En 2022, Europa produjo más del 50% de todos los plásticos reciclados por reciclaje químico que se produjeron en el mundo.

La industria ya ha anunciado inversiones de más de 8 mil millones de euros en tecnologías de reciclado químico. Así, la cantidad de plásticos reciclados vía estas tecnologías debería aumentar significativamente en los próximos años, siempre y cuando los decisores políticos aprueben la aceptación legislativa de estas tecnologías con carácter urgente.

### 7.11 Referencias bibliográficas

Aguado Alonso J., Serrano D P., Escola, J. M., Briones L. (2011) El papel de la Química en la valorización de los residuos plásticos. *Anales de Química de la RSEQ*, 107(1), 76–83

AIMPLAS Instituto Tecnológico del Plástico (2022). *Reciclado Químico en España: Apostando por un futuro circular*

Almeida D., Marquez, M. (2016). Pirolisis térmica y catalítica de residuos plásticos. *Polimeros*, 44-51.

Al-Salem, S.M., Lettieri, P., Baeyens, J. (2009) Recycling and Recovery Routes of Plastic Solid Waste (PSW): A Review. *Waste Management*, 29, 2625-2643.

Arandes J.M, Bilbao J., López Valerio D. (2004) Reciclado de residuos plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen 5(1)*, 28-45

Ecoplas (2020) *Publicación Nro 57. Reciclaje avanzado de los plásticos*

Ecoplas (2020) *Manual. Los Plásticos En La Economía Circular*

ECOPLAS 2023. *Guía Los Plásticos En La Economía Circular* ISBN: 978-987-47509-0-7

Fuentes C. (2020) *Reciclado terciario de residuos plasticos: craqueo catalítico y glicolisis. Tesis para obtener el grado de Doctor de la Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de La Plata. Argentina*

López Barajas F. (2014) *Estudio del efecto del procesamiento y la extensión de cadena sobre las propiedades reológicas y mecánicas de PET. Una alternativa al reciclado. Tesis de Maestría Saltillo Coahuila México*

Plastics Technology, México (2023) *Reciclaje avanzado de plásticos: más allá de la pirolisis.*

Plastics Technology México (2023) *Reciclaje químico de plásticos: técnicas y beneficios.* <https://www.pt-mexico.com/articulos/reciclado-químico-una-alternativa-de-valor-dentro-de-la-economia-circular-de-los-plasticos>.

Ragaert K. , Delva L., Van Geem K. (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste . *Waste Management* 69 (2017) 24–58.

Roncacio Cardona K. L. (2017) *Análisis del reciclaje químico como alternativa tecnológica para la valorización y disposición final de residuos plásticos post-consumo Tesis de Especialización en Planeación Ambiental y manejo integral de los Recursos*

Naturales, Universidad Militar La Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

Sarra A. J. (2018). Dioxinas y furanos derivados de la combustión. Perspectivas: Revista Científica de la Universidad de Belgrano, V 1, N 1, 2018

Thiounn T.; Smith R. C. (2020) Advances and approaches for chemical recycling of plastic Waste. Review. J Polym Sci. 2020;58,1347–1364.

Tustin G.C., P.T. (1995). US Patent No. 5413681. Jernigan

Vargas Santillán A. (2019) Análisis de Reciclado Químico de Plásticos (PE y PET) para la Obtención de Productos con Valor Agregado en México. Tesis Doctoral presentada a la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química como requisito parcial para obtener el Grado de Doctor En Ciencias En Ingeniería Química Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Zhao, Yi-Bo; Lv , Xu-Dong : Ni, Hong-Gang (2018) Solvent-based separation and recycling of waste plastics: A Review. Chemosphere 209, 707-720.

## La regulación en Argentina de los residuos plásticos. Propuesta de puntos a incluir en una norma que regule en forma integral su gestión integral.

**Dra. María Marcela Flores**

### 8.1 Resumen Ejecutivo

Se analiza principalmente la legislación en vigencia sobre sólidos urbanos, en virtud de que muchas jurisdicciones locales aún no han regulado sobre los residuos plásticos específicamente, por lo cual aplican a los mismos esta normativa. Incluso la escasa regulación existente sobre el tema, tampoco regula a los residuos plásticos en forma completa.

El análisis comprende:

- Análisis constitucional y marcos normativos generales que han originado el dictado de normas reglamentarias específicas.
- Evaluación de las regulaciones directas o indirectas sobre residuos sólidos urbanos y plásticos, teniendo en cuenta el principio de economía circular, el que -internacionalmente- está siendo utilizado para lograr una gestión eficiente y adecuada de los mismos. Así, se mencionarán las regulaciones que impulsan los sistemas de gestión diferenciada de residuos reciclables y las falencias existentes en la legislación vigente que impiden su tratamiento integral.
- Punteo de normas técnicas voluntarias y del futuro tratado internacional en la materia de plásticos que se encuentran en una fase preparatoria.
- Conclusión teniendo en cuenta las regulaciones existentes y cómo podría impactar sobre las mismas el nuevo acuerdo internacional jurídicamente vinculante sobre la contaminación por plásticos que está siendo discutido en el seno de la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Se estima que el acuerdo se suscribirá en el año 2024, e incluirá la regulación del ciclo de vida completo del plástico, incluyendo su producción, diseño y eliminación.

## 8.2 Introducción

Los Residuos Plásticos presentan la particularidad de encontrarse en las distintas actividades antrópicas, generándose en la casi totalidad de las mismas, industria, comercio, agricultura, residuos de todo tipo (RSU, RAEEs, EVFS, Envases Vacíos de Fitosanitarios, etc.). Esta condición, determina sistemas de gestión diferenciados, según su origen y su composición, donde los aspectos normativos de las distintas jurisdicciones definen su destino final. Al no existir en el país una norma de presupuestos mínimos específica, las jurisdicciones locales adoptan criterios heterogéneos, impidiendo lograr programas de gestión regionales a los fines de optimizar recursos humanos, operativos y económicos disponibles.

Como consecuencia de lo señalado en el párrafo anterior, la gestión adecuada de los residuos plásticos, la minimización de su generación, como así también los efectos adversos causados por su disposición final y tratamientos defectuosos, representan problemas trascendentes y complejos que también se observan en el mundo desarrollado. Por todo ello, para países como la República Argentina, adquiere una dimensión superior que exige un esfuerzo para lograr la coordinación y actualización del ordenamiento jurídico existente.

A continuación, se procederá a realizar un análisis de los marcos normativos en los que se encuentran comprendidos los residuos plásticos en las distintas jurisdicciones, como un primer aporte al conocimiento de la regulación actual.

## 8.3 La regulación de los residuos no peligrosos en Argentina. Análisis constitucional de competencias

En este título y subtítulos posteriores, se analizará la legislación sobre la gestión integral de los residuos sólidos urbanos (RSU) y no peligrosos, debido a que, en Argentina dentro de dicha normativa se encuentran regulados los residuos plásticos. El análisis se realizará a nivel Nacional, de la Provincia de Buenos Aires y de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), mencionando además las principales normas sobre la materia del resto de las provincias argentinas.

En las provincias, a su vez, debemos analizar la competencia que poseen los municipios para dictar normas sobre el tema en análisis (gestión integral de los residuos y específicamente su recolección diferenciada), y en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires la competencia de las Comunas.

**Régimen Municipal.** El municipio, de conformidad con nuestro sistema de distribución del poder, recibe sus atribuciones de la definición que le otorga el derecho público que surge de la Constitución Nacional, y lo establecido en la constitución de cada una de las provincias. Por ello, el análisis de sus competencias debe ser necesariamente llevado a cabo luego de mencionar lo que establecen las mandas de la Constitución Nacional.

Además, se debe tener en cuenta que el principio de igualdad del derecho público provincial es aplicable a los municipios en el interior de cada provincia, las que, si bien deben asegurar su autonomía, definen en sus constituciones, el alcance y contenido de las atribuciones de los municipios en el orden institucional, político,

administrativo, económico y financiero. De ahí que existen varios tipos de municipios diferentes en las distintas provincias.

En el caso de la Provincia de Buenos Aires, todos los municipios poseen la misma jerarquía, no debiendo hacer -como sucede en otras provincias- una tipología municipal, ya que su carta fundamental es la Ley Orgánica de las Municipalidades, la que les fue dada por la Provincia. Por su parte, al realizar una lectura a la carta fundamental de la Provincia, vemos que luego de la reforma constitucional de 1994, no se incorporó ninguna norma referente a la autonomía municipal.

La Constitución de la Provincia de Buenos Aires, en su Sección Séptima, Capítulo Único "Del Régimen Municipal", establece que existe una sola categoría de municipios, a saber: Composición (art. 190), atribuciones, responsabilidades de cada departamento (art. 191 y 192), y limitaciones (art. 193); pero nada expresa sobre su autonomía.

La Ley Orgánica de las Municipalidades, Decreto Ley N° 6.769/58 y sus modificatorias, les define funciones que se acercan más a una figura autárquica, aunque, como señalan algunos autores como Morello<sup>ii</sup> poseen competencias que superan el concepto técnico de autarquía. Estima el autor que: *“el régimen municipal del primer estado argentino tiene notas que lo particularizan, entre ellas, no poder dictar su propia carta orgánica y ser la legislatura provincial la que deslinda las responsabilidades y atribuciones de cada órgano que compone el gobierno. Sin embargo, determinadas atribuciones que son inherentes a las potestades que el ordenamiento jurídico reconoce a los municipios, no podrán serle sustraídas ni reglamentadas por la legislación de la provincia, por ejemplo, el de nombrar y dejar cesante a los funcionarios municipales (inc. 3 art. 192) y, en caso de suceder, deberá ser el poder judicial quien determine la inconstitucionalidad de las normas que avanzan sobre las potestades -inherentes- a los municipios”*.

Como corolario, se destacan las siguientes características que se presentan en el derecho público provincial y municipal en casi todo el país:

- Los municipios ejercen el poder de policía local en materia de salubridad, salud, urbanismo, higiene y moralidad, encontrándose comprendido entre estas funciones todo lo concerniente a determinar la forma de recolección y gestión de sus residuos.
- Es importante tener en cuenta que si bien por mandato constitucional (art. 123 reformado en 1994) todos los municipios deben ser autónomos, subsiste una marcada competencia provincial en materia ambiental, aunque no en lo que concierne a zonificación, ordenamiento territorial, certificación de zonas donde podrán emplazarse actividades y la habilitación de las actividades. Estas competencias permiten a las municipalidades prohibir el desarrollo de determinadas actividades, uso de sustancias, o realización de técnicas que consideren nocivas para el ambiente dentro de sus territorios.
- Los municipios, para poder ejercer competencias ambientales, deberán poseer cuerpos técnicos que les permitan desempeñar dichas competencias para sostener la dinámica de los ecosistemas y preservación de los recursos

naturales, además de contar con marcos jurídicos consecuentes con las actividades a desarrollarse.

**Las provincias argentinas y sus municipios.** Las constituciones provinciales en Argentina establecen distintos niveles de gobierno. Los municipios en algunos casos son discriminados en varias categorías y otras formas de gobierno local, las que pueden depender de un municipio o bien directamente de la provincia.

En las distintas constituciones de provincias argentinas, se establecen de uno a seis niveles de gobierno, pero no mencionan en forma explícita la existencia de distintas categorías de municipios. Sólo seis expresamente categorías, y dos delegan su definición en las legislaturas locales. En este sentido, las provincias que legislan cuatro niveles de descentralización, los conforman generalmente con tres categorías de municipios, a los que se les suma otra forma de gobierno local más simple, dependiente de la provincia (comuna, comisión municipal o de fomento, delegación municipal, etc.). Brevemente se listan a continuación los distintos tipos de desagregaciones gubernamentales existentes en las constituciones de las provincias argentinas:

1. Municipios más formas de gobierno dependientes de la provincia (3° nivel de gobierno): (i) con una sola categoría: La Pampa, Santa Fe. (ii) Con dos categorías: Formosa, Río Negro, Santa Cruz. (iii) Con tres categorías: Córdoba, Chubut, Jujuy, San Luis –que a diferencia de las demás incluye dos formas de gobierno independientes y una dependiente del municipio más cercano-, Tierra del Fuego y Tucumán. (iv) Con cuatro categorías: Corrientes y Santiago del Estero. En total, trece provincias.
2. Municipios más delegaciones administrativas o formas de gobierno dependientes del municipio (4° nivel de gobierno): (i) Con tres categorías: Catamarca y Salta. (ii) Con cuatro categorías: Chaco y San Juan. En total, cuatro provincias.
3. Sólo municipios: (i) Con una única categoría: Buenos Aires y Mendoza. (ii) Con dos categorías: Entre Ríos y La Rioja. (iii) Con cuatro categorías: Misiones y Neuquén. En total, seis provincias.

Con respecto al cuidado del ambiente y al mejoramiento de la calidad ambiental, se destaca que no muchas constituciones los establecen expresamente como competencias municipales. En este sentido, el cuidado del ambiente y mejoramiento de la calidad ambiental como competencias municipales lo establecen once constituciones, mencionando -a tal efecto- los siguientes temas:

- a) Protección y conservación del medio ambiente, el equilibrio ecológico y la polución ambiental, la preservación de los recursos naturales, el patrimonio natural o el paisaje (Catamarca, Córdoba, La Rioja, Salta, Santiago del Estero, Tucumán).
- b) Dictado de ordenanzas y reglamentaciones sobre protección del ambiente y/o el ejercicio del poder de policía (Chaco, Chubut, San Luis, Tierra del Fuego).
- c) Salud ambiental. En este caso se prevé la participación del municipio en la definición de políticas provinciales (Chaco).
- d) Establecimiento de derechos y deberes de la población respecto del ambiente

(Chaco y Chubut).

e) Cooperación con el gobierno provincial y nacional (Salta).

A pesar de lo antes expresado, respecto de la gestión de los residuos sólidos urbanos -que incluye a los residuos plásticos- se reconoce entre las "competencias tradicionales" del gobierno local a la gestión administrativa para la marcha normal de la organización municipal. Esta última se encuentra estrechamente ligada al desarrollo urbano -que incluye el planeamiento urbano-, la obra pública (la construcción de redes de gas natural, de agua potable, de desagües cloacales y pluviales, y de puentes, el pavimento y la iluminación vial, entre otras), el catastro y el ejercicio del poder regulatorio sobre las obras civiles, la prestación de servicios públicos (suministro de agua potable y servicios cloacales, higiene urbana, recolección de residuos, mantenimiento de calles y caminos rurales), y la regulación de la vida comunitaria (abastecimiento urbano, control de la salubridad y seguridad de comercios e industrias, tránsito urbano, etc.).

Adunando lo antes comentado -y a los fines de clarificar la competencia local para legislar y determinar la manera en que se realizará la gestión de los residuos que sólidos urbanos, a pesar de ser generados por personas jurídicas privadas- se cita el fallo de la Corte Suprema de Justicia de la Nación: "**López, María Teresa c/ Santa Cruz, Provincia de y otros (Estado Nacional) s/ amparo ambiental**" del 6 de febrero de 2023, por el cual la CSJN volvió a reiterar la competencia local en materia de residuos sólidos urbanos y de aguas. En el marco de un amparo ambiental colectivo para que se asegure el efectivo acceso al agua potable a una población, la Corte había requerido -en forma previa a determinar su competencia- informes al Estado Nacional y a las provincias demandadas. Luego de su diligenciamiento, el Tribunal expresó que las cuestiones atinentes al tratamiento de los efluentes cloacales y a la adecuación del servicio de recolección y tratamiento de los residuos urbanos, se encuentran regidas sustancialmente por el derecho público local, por lo que deben sustanciarse ante los jueces locales

**Las Comunas en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.** Por su parte, la Ciudad de Buenos Aires se encuentra organizada en quince (15) Comunas, siendo la Ley N° 1777, la norma que regula su régimen. Las Comunas son unidades descentralizadas de gestión política y administrativa que, en algunos casos, abarcan a más de un barrio porteño. Sus competencias exclusivas son el mantenimiento de las vías secundarias y los espacios verdes, la administración de su patrimonio, la iniciativa legislativa y la elaboración de su presupuesto y programa de Gobierno.

Actualmente, las Comunas tienen injerencia en los siguientes temas: arbolado, espacios verdes, mantenimiento de las veredas y el asfalto. También, en forma concurrente con el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (GCBA), las Comunas ejercen poder de policía al fiscalizar el uso del espacio público.

### 8.3.1 Las normas de presupuestos mínimos, los principios ambientales y el Convenio de Escazú.

A partir de la reforma de la Constitución Nacional del año 1994, en materia ambiental se receptó el modelo de federalismo de concertación, dejando de lado el de

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

desplazamiento que existía antes de la reforma de 1994<sup>iv</sup>. Por lo tanto, si bien el Congreso de la Nación es quien debe dictar la legislación de presupuestos mínimos, los gobiernos locales dictan la legislación complementaria en función de sus necesidades, siendo también quienes aplican las normas dentro de sus territorios.

El artículo 41° en su primer párrafo, introduce el concepto “desarrollo sustentable” v, además de incorporar -en forma clara- la protección de los derechos de las generaciones futuras a gozar de un ambiente apto para que puedan satisfacer sus necesidades.

En la segunda parte del primer párrafo, se introducen disposiciones que deberán ser aplicables a quienes ocasionen un daño al ambiente, remarcando prioritariamente la obligación de realizar la recomposición del mismo según establezca la ley. Estas disposiciones sobre daño ambiental incluidas en la Constitución han sido reguladas en la Ley Nacional de Presupuestos Mínimos N° 25.675 de Política Ambiental Nacional o General del Medio Ambiente (en adelante LGA N° 25.675), lo que también se incorporó al nuevo texto del Código Civil y Comercial unificado por Ley Nacional N° 26.994 (arts.14, 240 y 241 entre otros<sup>vi</sup>). Por ello, en todas las jurisdicciones locales donde se ejerzan derechos que pudieren afectar el ambiente y los recursos naturales, se debe respetar lo establecido la normativa sobre presupuestos mínimos.

En el tercer párrafo del artículo 41, la Constitución encarga a la Nación el dictado de normas que contengan los presupuestos mínimos de protección del ambiente y a las provincias el dictado de las normas necesarias para complementarlas, sin que las primeras alteren las jurisdicciones locales. Las normas de presupuestos mínimos de protección ambiental que han sido sancionadas, promulgadas y enviadas a publicar hasta el presente son: la Ley General del Ambiente (LGA) N° 25.675<sup>vii</sup>; la Ley N° 25.612 de presupuestos mínimos en materia de residuos industriales; la Ley N° 25.670 de presupuestos mínimos en materia de gestión y eliminación de PCBs; la Ley N° 25.688 regula el régimen de gestión ambiental de las aguas; la Ley N° 25.831 de acceso a la información ambiental; la Ley N° 25.916 de gestión de residuos domiciliarios; la Ley N° 26.331 de protección ambiental para el enriquecimiento, restauración, conservación, aprovechamiento y manejo sostenible de los bosques nativos; la Ley N° 26.562 de protección ambiental para control de actividades de quema; la Ley N° 26. 639 para la preservación de los glaciares y del ambiente peri glacial; la Ley N° 26.815 que establece los presupuestos mínimos de protección ambiental en materia de incendios forestales y rurales en el ámbito del territorio nacional modificada por Ley N° 27.604; la Ley N° 27.353 que crea el sistema federal de manejo del fuego; la Ley N° 27.621 para la implementación de la educación ambiental integral en la República Argentina; la Ley N° 27.279 de protección ambiental para la gestión de los envases vacíos de fitosanitarios; y la Ley N° 27.520 de presupuestos mínimos de adaptación y mitigación al cambio climático global. Esta última norma formaliza el trabajo implementado en el marco del Gabinete Nacional de Cambio Climático y la Comisión de Cambio Climático del Consejo Federal de Medio Ambiente. Además, institucionaliza el Gabinete Nacional de Cambio Climático ya creado, y establece el tratamiento del tema como una política de estado, siendo especialmente destacable para este análisis debido a los gases de efecto invernadero

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

que se generan con consecuencia del tratamiento y la disposición final de los residuos plásticos.

Para poder entender como aplican estas normas, debe tenerse en cuenta que el artículo 124 de la Constitución Nacional que se complementa con el 41, debido a que el dominio originario de los recursos naturales corresponde a las provincias. Por lo tanto, son las jurisdicciones locales -por poseer el dominio de los recursos naturales-, quienes ejercen los derechos reales sobre los mismos y retienen el poder de policía en materia ambiental, conforme lo determina el art. 75 inc. 30 de la Constitución Nacional. Estos derechos reales le otorgan a quienes los detentan, la facultad de usar, gozar y disponer -material y jurídicamente- de la cosa (en este caso los recursos naturales y culturales <sup>viii</sup>). En concreto, las nuevas normas de presupuestos mínimos, son la base o piso en que se deben asentar o construir los plexos normativos locales.

La interpretación y aplicación de la LGA y de toda otra norma a través de la cual se ejecute la política ambiental en el país deberán cumplir con los principios establecidos y definidos en la LGA, principios que en su mayoría se han inspirado en los incluidos en la Declaración de Río de Janeiro sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Cumbre de Naciones Unidas del año 1992. Estos son:

El **principio de congruencia** resulta muy importante para entender la forma de aplicar en todo el territorio del país la normativa de presupuestos mínimos existente, ya que se encuentra definido de la siguiente forma: la legislación provincial y municipal referida a lo ambiental deberá ser adecuada a los principios y normas fijadas en la presente ley (LGA); en caso de que así no fuere, este prevalecerá sobre toda otra norma que se le oponga.

El **principio de prevención** se define de la siguiente forma: "...Las causas y las fuentes de los problemas ambientales se atenderán en forma prioritaria e integrada, tratando de prevenir los efectos negativos que sobre el ambiente se pueden producir...". Este principio se aplica para prevenir daños futuros o efectos teniendo en cuenta causas o fuentes conocidas, como así también sus efectos.

El **principio precautorio**: "...Cuando haya peligro de daño grave o irreversible la ausencia de información o certeza científica no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces, en función de los costos, para impedir la degradación del medio ambiente...". Este principio a nivel internacional se encuentra plasmado en la Declaración de Río de Janeiro sobre Medio Ambiente y Desarrollo, UN, 1992, en su Principio 15 de donde fue tomado, pero no en forma idéntica, ya que en éste no se incluye el supuesto de la ausencia de información, sino que en su definición sólo se incluye que ante la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente.

Los elementos esenciales <sup>ix</sup> para poder aplicar el principio precautorio, son:

Falta de certeza absoluta: para que pueda verificarse este supuesto deben existir estudios científicos confiables de los cuales se pueda inferir que la actividad produce

efectos dañosos, aunque no se hubiere llegado a la certeza científica absoluta, pero dichos estudios deben poder ser citados, al igual que los efectos <sup>x</sup>.

En cuanto a la ausencia de información, decimos que esta debe conjugarse con la posibilidad cierta de que exista un peligro de daño grave e irreversible. Sin estos supuestos, el principio no puede ser utilizado.

Por lo tanto, se debe tener en cuenta la aptitud de la actividad, obra o emprendimiento para poder causar como resultado o efecto, peligro de daño grave e irreparable para el ambiente, la salud y la seguridad pública. El peligro debe ser real y poseer idoneidad para causar daño a la salud, el ambiente y la seguridad pública.

El **principio de equidad intergeneracional**: los responsables de la protección ambiental deberán velar por el uso y goce apropiado del ambiente por parte de las generaciones presentes y futuras. Este principio se encuentra inspirado en el número tres de la Declaración de Río de Janeiro sobre Medio Ambiente y Desarrollo, UN, 1992.

El **principio de progresividad**: los objetivos ambientales deberán ser logrados en forma gradual, a través de metas interinas y finales, proyectadas en un cronograma temporal que facilite la adecuación correspondiente a las actividades relacionadas con esos objetivos.

El **principio de responsabilidad**: el generador de efectos degradantes del ambiente - sean actuales o futuros-, es responsable de los costos de las acciones preventivas y correctivas de recomposición, sin perjuicio de la vigencia de los sistemas de responsabilidad ambiental que correspondan.

El Código Civil y Comercial de la Nación -aprobado por Ley N° 26.994 y publicado en boletín oficial el 8 de octubre de 2014-, en sus artículos 1757 y 1758 sobre los hechos de las cosas y actividades riesgosas, establece que toda persona responde por el daño causado producto del riesgo o vicio de las cosas, animales, o por las actividades que sean riesgosas o peligrosas por su naturaleza y por los medios empleados o por las circunstancias de su realización. En estos casos, la responsabilidad es objetiva por haber asumido el riesgo, no siendo eximentes la autorización administrativa para el uso de la cosa o la realización de la actividad, ni el cumplimiento de las técnicas de prevención.

Complementando lo determinado en los artículos 1757 y 1759, el artículo 1758 determina que el dueño y el guardián son responsables concurrentes del daño causado por las cosas, considerando guardián a quien ejerce, por sí o por terceros, el uso, la dirección y el control de la cosa, o bien obtiene un provecho de ella.

El dueño y el guardián no responden solo si prueban que la cosa fue usada en contra de su voluntad expresa o presunta; pero en el caso de actividades riesgosas o peligrosas responde quien las realiza, se sirve u obtiene provecho de ellas, por sí o por terceros, excepto lo dispuesto por la legislación especial.

El **principio de subsidiariedad**: El Estado nacional, a través de las distintas instancias de la administración pública, tiene la obligación de colaborar y, de ser necesario, participar en forma complementaria en el accionar de los particulares en la preservación y protección ambientales.

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

**El principio de sustentabilidad:** Tanto el desarrollo económico y social como el aprovechamiento de los recursos naturales, deberán realizarse a través de una gestión apropiada del ambiente, de manera tal que no comprometa las posibilidades de las generaciones presentes y futuras.

Para alcanzar el principio de sustentabilidad, resulta necesario también conjugar lo establecido en el artículo 41 de la Constitución Nacional -donde se establecen los derechos ambientales para las generaciones actuales y futuras (equidad intergeneracional)-, con el resto de las mandas constitucionales, especialmente con lo dispuesto en los artículos 18, 19 y 14 de la Constitución Nacional, los que reconocen el derecho a trabajar, ejercer industria lícita, peticionar a las autoridades y a que se respete el debido proceso, entre otros derechos de la misma importancia.

En este sentido, teniendo en cuenta el principio de razonabilidad ligado al de legalidad (debido proceso), eficiencia, eficacia y equidad intergeneracional que se desprenden de los artículos de la Constitución mencionados en el párrafo anterior, deviene como lógica consecuencia, que necesariamente el principio de sustentabilidad debe conjugarse con los de responsabilidad, prevención del daño y progresividad, lo que obliga a la reestructuración y reorientación de las políticas en la realización de diversas actividades, obras y emprendimientos tendientes al logro del desarrollo sostenible (por ejemplo, invirtiendo en tecnologías limpias para el tratamiento y gestión de residuos, fomentando el ahorro en el uso del agua y energía, entre otras medidas). Este proceso de reconfiguración de las actividades para lograr mejores rendimientos en las inversiones de capital natural, humano y económico se traducirá -muchas veces- en gastos no recuperables de manera directa e inmediata, pero seguramente a mediano y largo plazo contribuirán a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, a una menor extracción y uso de los recursos naturales, a una reducción en la generación de desechos, a la recuperación de cursos y cuerpos de agua, etc., lo que beneficiará sin lugar a dudas a toda la sociedad y a las generaciones futuras.

**El principio de solidaridad:** la Nación y los Estados provinciales serán responsables de la prevención y mitigación de los efectos ambientales transfronterizos adversos de su propio accionar, así como de la minimización de los riesgos ambientales sobre los sistemas ecológicos compartidos.

**El principio de cooperación:** Los recursos naturales y los sistemas ecológicos compartidos serán utilizados en forma equitativa y racional. El tratamiento y mitigación de las emergencias ambientales de efectos transfronterizos serán desarrollados en forma conjunta <sup>xi</sup>

Los **principios sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales** (nuevos preceptos incorporados por el Acuerdo Regional de Escazú). A partir de la ratificación del Acuerdo de Escazú -por aprobación del Congreso de la Nación mediante Ley N° 27556-, se suman los principios que contiene el Acuerdo, que -como se expresó arriba al comentar el artículo 41 de la Constitución Nacional- ha sumado a nuestro derecho vigente los principios “pro persona”, “no regresión y progresividad”, “igualdad y no discriminación”; “transparencia y rendición de cuentas”; “buena fe”; “máxima publicidad”, “soberanía permanente de

los estados respecto de sus recursos naturales”, y de “igualdad soberana de los Estados”. Principios estos últimos que no han sido definidos en el acuerdo, pero que deben ser tenidos en cuenta como límite para la realización de proyectos, obras o actividades que puedan afectar al ambiente.

En este punto, teniendo en cuenta los importantes principios incorporados al ordenamiento jurídico argentino por la ratificación del Acuerdo Regional de Escazú, se remarca que, para su aplicación, siempre debe respetarse con razonabilidad el principio constitucional rector en el ordenamiento legal ambiental argentino, que es el Principio de Sustentabilidad (mencionado en el punto h). En definitiva, la razonabilidad -como módulo de la justicia<sup>xii</sup>, resguarda el cumplimiento de la legalidad como garantía constitucional que asegura -como antes se mencionó en este capítulo-, que los poderes públicos, al reglar la libertad jurídica del individuo, deben hacerlo con mesura, respetando como límite la proporcionalidad de las consecuencias de su actuación. De esta forma, resulta claro que, para la interpretación de los principios ambientales, deben respetarse los derechos de todos los habitantes a un ambiente sano y al logro de su bienestar socioeconómico que le permita vivir en forma digna, cumpliendo también de esta forma con el principio “pro persona”.

### **8.3.2 Competencias ambientales de las jurisdicciones locales.**

En Argentina, tanto a nivel nacional como local, se ha aprobado un completo conjunto de normas de derecho interno que tutelan el derecho a un medio ambiente sano; surgiendo de todas ellas que el mismo pertenece a una pluralidad de sujetos. De esta forma se encuentra establecido desde la Constitución y en las leyes de presupuestos mínimos que complementan sus mandatos.

Respecto al reparto de competencias en materia ambiental dentro del país, la Constitución y las normas dictadas en su consecuencia prevén una nueva forma de función legislativa de concertación y consenso, en virtud de que las normas provinciales complementan las normas de presupuestos mínimos dictadas por el Congreso Nacional conforme las particularidades que cada provincia defina, teniendo en cuenta los lineamientos de política ambiental local, pero siempre respetando los elementos centrales unificados.

En consecuencia, el ordenamiento jurídico argentino presenta la particularidad de estructurarse mediante la integración entre normas de fuente interna y de fuente internacional ratificadas por el país. En cuanto a los instrumentos internacionales incorporados al derecho argentino debe tenerse en cuenta también, la posibilidad que tienen las jurisdicciones locales de poder suscribir acuerdos o convenios internacionales con los límites establecidos en la misma Constitución Nacional, respetando siempre la jerarquía normativa que surge desde la misma.

Respecto de la potestad de las provincias de celebrar convenios internacionales, luego de la reforma de la Constitución Nacional de 1994, se ha producido un cambio en la participación de las provincias en las relaciones económicas internacionales para resolver los problemas que les atañen sin desvirtuar el sistema federal que las organiza.

Los cambios que aprueba la Convención Constituyente y se incorporaron en la Constitución (artículos 124, 125, 126 y 127), fueron los siguientes: (i) mantuvieron el texto del anterior artículo 107 a la fecha de esta publicación artículo 125, en lo referente a los acuerdos que las provincias celebrasen con la Nación o con otras provincias, (ii) se introdujo en el artículo 124 la facultad de *firmar convenios internacionales* con restricciones, las que surgen del análisis también de los artículos 126 y 127. <sup>xiii</sup>

*“Artículo 124.- Las provincias podrán crear regiones para el desarrollo económico -social y establecer órganos con facultades para el cumplimiento de sus fines y podrán también celebrar convenios internacionales en tanto no sean incompatibles con la política exterior de la Nación y no afecten las facultades delegadas al Gobierno Federal o el crédito público de la Nación; con conocimiento del Congreso Nacional. La ciudad de Buenos Aires tendrá el régimen que se establezca a tal efecto. Corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio.”*

De la simple lectura del artículo 124 se pueden extraer los siguientes límites que los convenios suscriptos por las provincias deben cumplir, a saber: (i) no pueden oponerse o desvirtuar la política exterior de la Nación; (ii) no pueden afectar las facultades que las provincias han delegado en el Gobierno Federal o (iii) el crédito de la Nación; y (iv) deben ser enviados al Congreso para su conocimiento. Para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires el ejercicio de esas facultades debía ser establecido por el estatuto organizativo de sus instituciones, lo que se incorporó en el inciso 3 del artículo 104 de la constitución porteña de 1996.

Esta incorporación de la potestad de las provincias de celebrar convenios internacionales en el texto constitucional se debió a que muchas jurisdicciones locales ya la poseían en sus constituciones -como respuesta a la situación política y económica existente-, estableciendo facultades complementarias del Estado Federal, las provincias, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y las actividades económicas.

Volviendo a la última de las cuatro restricciones listadas en párrafos anteriores que poseen las jurisdicciones locales para celebrar convenios internacionales, la necesidad de que los mismos sean suscriptos *“con conocimiento del Congreso Nacional”*, y siguiendo a los doctores Quiroga Lavié, Sagüés y la doctora Cenicacelaya, se destaca que *“conocimiento”* no significa aprobación del Congreso. Así, conforme la real academia española, conocimiento es la *“Acción y efecto de conocer”*, Y conocer es *“Averiguar por el ejercicio de las facultades intelectuales la naturaleza, cualidades y relaciones de las cosas”*.

Por ello, el convenio debe ser tratado/conocido en el seno del Congreso, sin necesidad de ser aprobado. Ese conocimiento permitirá que pueda analizarse si hay creación de derechos o posibilidad de afectación de la responsabilidad patrimonial del Estado Nacional, siendo necesario en estos casos la aprobación o desaprobación. Lo mismo ocurre con los tratados regionales internos entre jurisdicciones locales, si el Congreso no cede competencias legislativas nacionales, basta el conocimiento. Pero en caso contrario, será también necesaria su aprobación.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Las constituciones provinciales que establecen en sus textos en forma expresa la potestad para firmar convenios internacionales, son: (i) la Constitución del Chaco de 1957, art. 137 inc. 10, que incluye a sujetos del derecho internacional al referirse a la capacidad provincial de celebrar acuerdos; y la (ii) la Constitución del Neuquén - también de 1957- que establecía que “la Provincia propenderá a la consecución de nuevos mercados para su producción agropecuaria y a la implantación de industrias afines, y convendrá con la Nación un régimen de comercio exterior que permita una solución integral en la materia”. Actualmente la Constitución de Neuquén luego de la última reforma, no posee ninguna cláusula sobre la suscripción de convenios internacionales.

Las provincias que han incorporado la potestad de firmar convenios internacionales son: Catamarca, luego de la reforma en 1985 (arts. 110 inc. 11 y 149 inc. 15); Jujuy, luego de la reforma en 1986 (arts. 3º inc. 3º, 123 inc. 34 y 137 inc. 7º); La Rioja (arts. 16 y 105 inc. 12); San Juan (arts. 113, 150 inc. 2º y 189 inc. 9º); Córdoba en 1987, (arts. 16 inc. 6º y 144 inc. 4º); San Luis (arts. 88 y 144 inc. 2º); Río Negro en 1988 (arts. 12 inc. 6º y 181 inc. 13); Formosa en 1991, (arts. 6º inc. 8º, 38 incisos 9º, 39 y 52 y 120 inc. 1º); y Tierra del Fuego en el mismo año (arts. 5º inc. 5º, 105 inc. 7º y 135 inc. 1º), y las conservan.

En todas ellas, es atribución del gobernador provincial firmar estos acuerdos internacionales los que luego deben ser aprobados por la legislatura local.

En relación al objeto de dichos convenios internacionales:

(i) La Constitución de Jujuy establece de manera genérica los “intereses científicos, culturales, económicos o turísticos” de la provincia (art. 3º inciso 3º),

(ii) La Constitución del Chaco establece que podrá firmarse sobre las materias “impositiva, producción, explotación de recursos naturales, servicios y obras públicas, y de preservación ambiental” (art. 53) y las actividades científicas y tecnológicas (art. 84 inciso 6º),

(iii) La Constitución de San Juan (art. 113) establece que podrán suscribirse en materia de recursos minerales provinciales;

(iv) La Constitución de San Luis (art. 88), establece que podrán suscribirse en materia de recursos minerales provinciales;

(v) La Constitución de Formosa, establece que podrán suscribirse en materia recursos naturales en general, compartidos con países limítrofes (art. 38 inciso 9º) y en especial, a los ríos de ese carácter (art. 52),

(vi) La Constitución del Chaco (art. 50) establece que podrán suscribirse en materia recursos naturales en general.

Varias constituciones provinciales que fueron reformadas a partir de 1994, también han aceptado, con disposiciones similares, explícitamente la posibilidad de celebración por parte de las provincias de convenios internacionales, siempre con la intervención del Poder Ejecutivo para su firma, y del Poder Legislativo para su aprobación, y para satisfacer sus intereses sin afectar la política exterior del Gobierno Federal:

- (i) La Constitución de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires en 1996,
- (ii) La Constitución de La Pampa (art. 4º)
- (iii) La Constitución de Chubut (arts. 14 inciso 5º, 135 inciso 1º y 155 inciso 7º);
- (iv) La Constitución de Salta (arts. 127, 144 y 176), en 1998;
- (v) La Constitución de Santiago del Estero (arts. 136 inciso 1º, 160 inciso 5º y 220) en el 2005;
- (vi) La Constitución de Tucumán (arts. 67 inciso 24 y 101); en 2006,
- (vii) La Constitución de Corrientes (arts. 118 inciso 1º, 162 inciso 7º y 227) en el año 2007;
- (viii) La Constitución de Entre Ríos (arts. 75 y 242) en año 2008.

De estos textos supremos, se destaca que en las constituciones de Salta (art. 176), Santiago del Estero (art. 220), Corrientes (art. 227) y Entre Ríos (art. 242) se habilita también a los municipios a acordar con entidades extranjeras dentro de la esfera de sus competencias.

En las constituciones de las provincias de Mendoza (1916), Misiones (1958), Santa Fe (1962), Buenos Aires (1994) y Santa Cruz (1998), no se encuentra mención alguna a los convenios internacionales

Las constituciones recientes que no receptaron la atribución de la Provincia de firmar acuerdos con otros estados u organismos internacionales -restringiendo las facultades de sus gobernadores-, sí lo hicieron respecto a la firma de tratados con la Nación y otras las Provincias.

#### **8.4 La regulación de los residuos no peligrosos en argentina. Los residuos plásticos.**

El 7 de setiembre del año 2004 se publicó en Boletín Oficial la ley de Presupuestos Mínimos en materia de residuos domiciliarios o sólidos urbanos, cuerpo normativo que lleva el número 25.916, que -según surge de sus fundamentos- fue uno de los primeros proyectos de ley de Presupuestos Mínimos que se trató en el Congreso Nacional.

Respecto de los residuos domiciliarios podemos afirmar que es el tipo de residuos sobre los cuales existe una mayor dificultad de definición, debido a que no puede definirse por su composición u origen específico, como sí se puede hacer con el resto de los residuos que poseen su regulación específica, a saber: (i) los radiactivos <sup>xiv</sup>; (ii) los industriales o de servicio <sup>xv</sup>; (iii) los peligrosos <sup>xvi</sup> o especiales como los denomina la provincia de Buenos Aires en su Ley N° 11.720 y normativa complementaria; (iv) los patológicos o patogénicos como los denomina CABA y provincia de Buenos Aires en su normativa específica y/o biopatogénicos <sup>xvii</sup>; (v) los de aparatos eléctricos o electrónicos (RAE); y (vi) los efluentes cloacales o aguas servidas a los que aplican las normas que regulan los efluentes líquidos y la prestación de los servicios de aguas y cloacas, entre otros. pero, en el caso de los

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

domiciliarios, su composición es heterogénea, ya que se encuentran compuestos por todo tipo de residuos que se generan en domicilios particulares -o en diversas actividades siempre que su forma de generación sea similar a la forma en que se generan en domicilios particulares-.

En el sentido de lo anteriormente dicho, la Ley N° 25.916 define a residuos domiciliarios en sus artículos primero y segundo. En el artículo primero lista una serie de actividades de donde se generan los mismos, enumerando a los de origen residencial, urbano, comercial, asistencial, sanitario, industrial o institucional, y exceptuando a los que se encuentran regidos por normas especiales. En el artículo segundo se trata de circunscribir el alcance de los mismos, definiéndolos como aquellos elementos, objetos, o sustancias, que, como consecuencia de los procesos de consumo y desarrollo de actividades humanas, son desechados y/o abandonados.

De las definiciones que nos brinda la ley, volvemos a nuestra afirmación inicial respecto de los residuos que se generan en domicilios o residencias, ya que no cabe duda que se encuentran incluidos en la norma; pero sobre los residuos de este tipo generados por el resto de las actividades, existe una delgada línea para poder considerarlos dentro de esta definición o bien considerarlos dentro de otras definiciones de residuos que poseen su propio régimen jurídico.

Al mismo tiempo, debemos aclarar que, respecto de este tipo de residuos, a diferencia del resto, son las autoridades locales, las que deben ocuparse de su gestión integral. Por este motivo, resulta imposible crear para ellos un régimen de gestión integral y responsabilidades similares a las establecidas para los residuos industriales o de servicios, peligrosos, biopatogénicos y los radiactivos, residuos por los cuales responde su generador. Si bien los residuos generados por grandes generadores, pueden ser identificados y gestionados por los mismos, el resto -que en general se generan en domicilios particulares, instituciones y comercios-, es el Estado, quien debe garantizar su gestión integral en condiciones sanitarias y ambientales satisfactorias <sup>xviii</sup>.

Así, el artículo tercero de la norma -en consonancia con los artículos 5 al 8 de su Capítulo II-, establece que la gestión integral de los residuos tendrá como objeto proteger el ambiente y la calidad de vida de la población. En este mismo sentido se pone en cabeza de las autoridades locales promover la valorización de los residuos implementando programas de cumplimiento gradual; mandatos estos que podemos encontrarlos en el derecho comparado, pudiéndose citar la Recomendación 81/972 de la Comisión de la entonces Comunidad Europea -a la fecha de esta publicación Unión Europea-. Por la Recomendación antes citada, se les encomienda a los Estados miembros, que además de garantizar la disposición de los residuos, la misma se realice en condiciones sanitarias y ambientales satisfactorias, debiendo promover que su gestión se acomode a principios de economicidad, incluyendo como opciones para ello la reutilización y reciclaje.

Resulta a la vez destacable, que en materia de gestión integral de los residuos de este tipo se insta a la regionalización, promoviendo la firma de convenios por parte de las autoridades locales, que posibiliten implementar estrategias regionales.

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Siendo que instar al regionalismo -a través de la libre concertación entre las partes según sus particularidades- ayudará a llegar a las soluciones necesarias en menor tiempo, se entiende que resulta estrictamente necesario concertar políticas entre provincias y jurisdicciones locales.

En este mismo orden de ideas, la autoridad nacional con competencia ambiental, conforme el principio de subsidiariedad (definido anteriormente junto con el resto de los principios de la LGA N° 25675), tendrá competencia a los fines de apoyar y asesorar -en conjunto con el COFEMA- a las autoridades locales que las jurisdicciones decidan determinar cómo competentes, quienes realizarán su gestión integral dentro de su jurisdicción respetando los lineamientos básicos incluidos en este cuerpo legal. Así, la autoridad de aplicación nacional, en conjunto con el COFEMA deberá formular políticas en materia de gestión de residuos domiciliarios y un programa nacional de metas cuantificables de valorización, que deberá ser de cumplimiento progresivo, revisado y actualizado periódicamente.

En el Capítulo VI, se establece que la coordinación interjurisdiccional se realizará a través del COFEMA. Para instar al consenso general -y no sólo entre órganos del Estado-, la norma en su artículo 25 del Capítulo VII, denominado "Autoridad de Aplicación" (que entendemos debió denominarse Competencias de la autoridad nacional y COFEMA), establece como objetivos de la autoridad nacional el promover programas de educación ambiental como así también la participación de la población en programas de reducción, reutilización y reciclaje de residuos. Las Autoridades de Aplicación serán aquellos organismos locales que sean determinados por cada una de las jurisdicciones locales, siendo la autoridad nacional un organismo de asesoramiento y apoyo a la gestión de residuos domiciliarios.

Las etapas que la Ley N° 25.916 señala como partes de la gestión integral de este tipo de residuos, son: la generación inicial, recolección, transferencia, transporte, tratamiento y disposición final. La norma define en forma clara y precisa cada una de las etapas enumeradas, pero deja en cabeza de las autoridades locales la libre determinación de la forma en que regulará cada una de ellas. Así, respecto a la disposición inicial, se posibilita que la misma sea general, sin clasificación ni separación, o selectiva con clasificación y separación a cargo del generador, lo que internacionalmente se denomina separación en la fuente. También realiza la misma distinción anterior en cuanto a la recolección.

Las autoridades locales son responsables de:

- i. Gestionar de forma integral los residuos generados en su territorio.
- ii. Dictar las normas necesarias para el efectivo cumplimiento de la ley.
- iii. Garantizar que los residuos domiciliarios sean recolectados y transportados a sitios habilitados, establecer métodos y frecuencia de recolección, como así también métodos de tratamiento y disposición final, adaptados a las características y particularidades de su jurisdicción.

Como antes se mencionó, se prevé que las autoridades locales pueden "suscribir convenios bilaterales o multilaterales, que posibiliten la implementación de

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

estrategias regionales para alguna o la totalidad de las etapas de la gestión integral de los residuos domiciliarios”.

También se clasifican a los generadores de residuos domiciliarios en “individuales” y “especiales” (grandes generadores), sobre la base de la calidad, cantidad y condiciones de generación, abriendo la posibilidad de contemplar al generador industrial, comercial e institucional de residuos domiciliarios bajo una categoría específica que lo obligue a gestionarlos bajo ciertas pautas particulares. Los parámetros para su determinación los establece cada jurisdicción. Por ejemplo, la Provincia de Buenos Aires, en particular ha legislado sobre los grandes generadores mediante la Ley N° 14.723 y Resoluciones OPDS N° 137/13, 138/13 y 139/13 actualmente suplantadas las dos primeras por la Resolución OPDS N° 317/20.

Respecto de los centros de transferencia, plantas de tratamiento y disposición final, la norma en el capítulo V de la Ley, establece para cada una de ellas la obligación de realizar un Procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). En este punto específico debemos remitirnos a lo establecido en la Ley de Política Ambiental Nacional N° 25.675, especialmente en sus artículos 11 al 13, donde establece los requisitos mínimos que deben contener los estudios de impacto ambiental, como así también en los artículos 20 y 21, donde dispone la obligatoriedad de realizar consultas o audiencias públicas como instancia obligatoria para la autorización de actividades que puedan generar efectos negativos y significativos al ambiente.

En el capítulo VIII de la norma se establece un régimen administrativo de infracciones y sanciones aplicables por parte de las autoridades locales a las personas físicas o jurídicas concesionarias del servicio de recolección, transferencia, transporte y disposición final de residuos; resultando difícil su aplicación en el caso que quien preste el servicio sea la misma autoridad local.

El Poder Ejecutivo de la Nación, al tiempo de la sanción de la ley y antes de su publicación observó y vetó el capítulo IX de la norma donde se fijaban plazos máximos para el cumplimiento de la ley, haciendo jugar a esta norma con la Ley de Política Ambiental Nacional (Ley N° 25.675), en la cual se establece el principio de gradualidad (mencionado anteriormente), entendiéndose que serán las jurisdicciones locales -de acuerdo a sus características y posibilidades- quienes definan en qué plazos se adaptarán a esta norma.

Para terminar con este escueto análisis de la Ley N° 25.916, se agrega que resulta razonable la motivación del Decreto Nacional N° 1158/2004, que observa el artículo treinta y siete de la norma, en el cual se prohibía la importación o introducción de residuos domiciliarios provenientes de otros países al territorio nacional, lo que ampliaba lo dispuesto por el último párrafo del artículo 41 de la Constitución Nacional sobre la prohibición de ingreso de residuos radiactivos y los actual o potencialmente peligrosos. De esta forma continuó vigente la posibilidad restringida de ingreso de residuos no peligrosos al país que existe desde el año 1992, la que se encuentra normalizada desde el año 2023 por el Decreto Nacional N° 392/2023 que regula la valorización de residuos no peligrosos, y suplantó el anterior Decreto Nacional N° 181/1992<sup>xix</sup>. Este procedimiento antes enunciado, brinda suficiente garantía,

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

asegurando que el ingreso de este tipo de residuos al país, no causará daños al ambiente; y a la vez se respeta la necesidad de ciertos sectores de la industria que utilizan este tipo de residuos como insumos de sus procesos productivos, sin perjudicar a quienes generan residuos dentro del país conforme el principio de economía circular.

La Ley de presupuestos mínimos N° 25.916 de protección ambiental para la gestión integral de residuos domiciliarios se reglamentó por el Decreto N° 779/2022. En el decreto se definen los residuos comprendidos en la norma cómo aquellos elementos, objetos o sustancias “que se generan y desechan como consecuencia de actividades domésticas realizadas en los núcleos urbanos y rurales, comprendiendo aquellos asimilables en sus características a éstos cuyo origen sea comercial, institucional, asistencial e industrial”.

En cuanto a la gestión integral de dichos residuos se establece la siguiente jerarquía de opciones: “a. Prevención/ Minimización; b. Reutilización/ Reúso; c. Recupero; d. Tratamiento; y e. Disposición Final. La jerarquía de opciones dispuesta en este artículo podrá variar siempre que se encuentre suficientemente fundamentada por parte del responsable de la gestión ante la autoridad correspondiente, teniendo en cuenta el tipo de material del que se trate, y las mejores técnicas y prácticas ambientales disponibles, y las condiciones técnicas, económicas y socioculturales, entre otros factores”.

Asimismo, aprueba el uso de un “Código unificado de colores para la clasificación e identificación de fracciones de residuos domiciliarios”, cuyo fin es el de armonizar los criterios técnicos y ambientales a emplear en las distintas etapas de la gestión integral de los residuos domiciliarios.

En el Anexo II se listan distintas clases de residuos (residuos secos valorizables, residuos considerados basura, residuos orgánicos valorizables, **residuos plásticos**, residuos de papel y cartón, residuos de vidrios y residuos de metales), los que se almacenarán y segregarán mediante el uso de los siguientes colores: verde, negro, marrón, amarillo, azul, blanco y gris, respectivamente. Además, entre las recomendaciones para la implementación de dicho código se establece, que para aquellas jurisdicciones en las que la disposición inicial selectiva sea binaria, se deberá contemplar la adopción del código unificado/estandarizado de colores para las fracciones de residuos secos valorizables y la de residuos considerados basura. A medida que las jurisdicciones vayan incorporando nuevas fracciones de residuos a la disposición inicial diferenciada, éstas deberán respetar el código de color asignado a dicho grupo de materiales.

El Decreto, establece que los generadores deberán separar y segregar los residuos de manera adecuada, realizando el acopio inicial y la disposición inicial de los residuos domiciliarios que generen, de forma tal que se eviten accidentes al ser manipulados. Los materiales valorizables, deberán ser previamente acondicionados de manera tal que al acopiarlos no se humedezcan ni deterioren entre sí. Los residuos orgánicos valorizables deben acopiarse y entregarse libres de todo material o envase no biodegradable.

También la norma señala que los programas especiales de gestión para aquellos residuos domiciliarios que, por sus características particulares de peligrosidad,

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

nocividad o toxicidad, puedan presentar riesgos significativos sobre la salud humana o animal, o sobre los recursos ambientales, deberán observar las pautas mínimas que al efecto establecerá la autoridad de aplicación en programas especiales. En este sentido, señala la norma que quedan comprendidas en los alcances de los mencionados programas especiales, los siguientes Residuos Especiales de Generación Universal (REGU):

- Aceites Vegetales Usados y grasas.
- Aceites Minerales Usados.
- Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEEs).
- Pilas y baterías portátiles.
- Lámparas de bajo consumo conteniendo mercurio.
- Cartuchos y tonners.
- Envases que, en virtud de la sustancia que contuvieron, posean características de peligrosidad.
- Neumáticos de desecho.
- Termómetros, esfigmomanómetros.
- Acumuladores de ácido plomo.
- Pinturas y solventes.
- Medicamentos.
- Membranas asfálticas.

En el artículo 6° del Anexo I se determina que para el establecimiento de las normas complementarias y de los sistemas de gestión de residuos para el cumplimiento efectivo de la ley, las autoridades competentes observarán los siguientes principios y lineamientos:

i. De la cuna a la cuna: la gestión integral de los residuos domiciliarios se realizará con un enfoque de idear, diseñar y producir de forma tal que los elementos que componen los productos, bienes y servicios puedan ser sosteniblemente recuperados y valorizados en todas las etapas de su ciclo de vida;

ii. Proximidad: la gestión integral de los residuos domiciliarios se realizará en los sitios que resulten adecuados y lo más cercanos posibles al lugar de su generación;

iii. Responsabilidad extendida al productor: se promoverá la asignación de la responsabilidad objetiva por la gestión integral y su financiamiento a los productores que introducen por primera vez en el mercado bienes y productos que luego de consumidos devienen en residuos domiciliarios. A tales efectos, los productores deberán adecuarse progresivamente a las obligaciones que se establezcan, teniendo en cuenta el ciclo de vida del bien y/o producto, y el respeto por la jerarquía de opciones.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

iv. Ecodiseño: los sistemas de gestión integral promoverán incentivos para la integración sistemática de los aspectos ambientales en el diseño de los bienes y productos, con el fin de mejorar el comportamiento ambiental y disminuir las externalidades ambientales a lo largo del ciclo de vida de los mismos, en particular su duración y potencial desvalorización;

v. Gradualidad: los sistemas de gestión integral se adaptarán racional, temporal y paulatinamente a los objetivos y obligaciones sentados por la presente reglamentación;

vi. Utilización de mejores técnicas y prácticas de gestión disponibles: la gestión de los residuos domiciliarios utilizará las mejores técnicas y prácticas disponibles, priorizando la alternativa más eficaz y avanzada de gestión frente a determinado contexto, que incluya las particularidades de la jurisdicción correspondiente, la tipología del residuo, su composición, entre otros factores; y que demuestre capacidad práctica, económica, social y ambiental para cumplir con los objetivos de la ley, y la jerarquía de opciones; y

vii. Trazabilidad: Los sistemas de gestión empleados por las autoridades competentes deberán ser autosuficientes permitiendo conocer stocks, flujos de generación, trayectos y cantidades valorizadas y dispuestas finalmente en forma desagregada por cada etapa.

La máxima autoridad de aplicación ambiental a nivel nacional, es determinado en el decreto como autoridad de aplicación, y se encuentra facultado para dictar las normas complementarias que fueren necesarias para alcanzar los objetivos de dicha ley. Asimismo, las autoridades competentes determinadas por cada una de las jurisdicciones locales y la autoridad de aplicación de la ley, deberán promover el cumplimiento de los objetivos establecidos en la norma.

En el mismo sentido de lo que se viene expresando, se establece en la norma en análisis que corresponde a las jurisdicciones locales establecer los procedimientos y pautas para la conformación de un Registro de Trabajadoras y Trabajadores en la recuperación de residuos domiciliarios con valorización económica que será de acceso público, en el que deberán inscribirse los mismos, ya sea de forma individual o colectiva.

Finalmente, se invita a las provincias y a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires a adherirse a la misma.

## **8.5 Resumen de las principales normas en materia de residuos sólidos urbanos vigentes en las jurisdicciones locales, que definen la gestión de residuos plásticos y legislación específica**

En este título se mencionarán las principales normas que regulan la gestión de residuos sólidos urbanos en Nación, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, las Provincias y algunos municipios que se mencionan a manera de ejemplo, a los fines de poder arribar finalmente a una conclusión general.

### 8.5.1 Normativa nacional general sobre residuos no peligrosos, entre los que se encuentran los plásticos

**Resolución AFIP N° 2849/2010 modificada por la Resolución N° 2974/2010 AFIP, Ley N° 13592**, norma impositiva que incentiva a segregar residuos -entre los que se encuentran los plásticos-, para ser vendidos como materiales a reciclar con un IVA más bajo. Para entrar en dicho sistema, deben inscribirse y emitir facturas bajo la categoría de comercializadores de materiales a reciclar.

Los residuos vendidos como materiales a reciclar se transportan como materiales, pero para cerrar el circuito, quien los venda como tales para poder demostrar su gestión deberá solicitar al adquirente de los mismos que emita una declaración jurada en la que indique la fecha en que fueron utilizados como materia prima de su proceso productivo.

**Residuos Sólidos Urbanos (RSU): Los que componen la basura doméstica. LPMN 25.916 y Decreto de promulgación N° 1158/04** en el que se observaron algunos artículos de la ley de presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de residuos domiciliarios

Por la ley antes mencionada, resulta conveniente diferenciar entre los siguientes tipos de residuos:

Inertes (voluminosos). Son escombros y materiales similares, en general, no peligrosos para el medio ambiente, aunque algunos pueden contener características peligrosas. REGUS y Legislación Local en general los incluyen dentro de RSU.

Similares a residuos sólidos urbanos. Restos de comedores, oficinas, etc. LPMN N° 25.916- GRANDES GENERADORES- Legislación Local

Residuos peligrosos. Que por su composición y características requieren tratamiento especial. LN. N° 24.051 y legislación local sancionada en su consecuencia o por adhesión.

Residuos agrarios. Son los que proceden de la agricultura, la ganadería, la pesca, las explotaciones forestales o la industria alimenticia. Ver LPMN N° 27.279.

Residuos médicos y de laboratorios. Restos del trabajo clínico o de investigación. Patogénicos LN N° 24.051 y normas locales que los diferencian de los peligrosos

Residuos radiactivos. Materiales que emiten radiactividad. LN N° 24.804

Se han aprobado a nivel nacional normas que sirven de guía para la gestión de residuos, así, se menciona:

**La Resolución 297/2019 SGAYDS** de la Nación: Guía para Manejo de Residuos de Oficinas establece principios para la gestión sustentable de los residuos que se generan en espacios de trabajo y para la separación en origen de los mismos, como así también promueve estrategias a ser adoptadas en materia de minimización en la generación, la recuperación de materiales, compostaje, su reutilización, reciclado o disposición final.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Las buenas prácticas ambientales que se proponen en la guía consisten en lineamientos dirigidos a incorporar nuevos métodos de trabajo y una gestión integral para aquellos residuos que se generan en las oficinas, optimizando las acciones y decisiones que cotidianamente se toman desde la planificación, pasando por la generación, y hasta la elección sobre el tratamiento o disposición final que se les va a dar.

**La Resolución MAyDS E-522/2016** Residuos Especiales de Generación Universal (REGU) por la cual se establecen objetivos, definiciones y lineamientos, para el desarrollo de una estrategia nacional referida al Manejo Sustentable de Residuos Especiales de Generación Universal (REGU) basado en la asignación de la carga de la gestión ambiental integral y su financiamiento al fabricante o importador de los productos que devienen en REGU al final de su vida útil. En este sentido, la Resolución 2019-189-APN-SGAYDS#SGP, establece los lineamientos para la efectiva implementación de la estrategia nacional mencionada a partir de la presentación de sistemas de gestión de REGU promoviendo entre otros, el principio de responsabilidad extendida del productor.

Listado enunciativo: aceites vegetales usados; aceites minerales usados; RAEES; pilas, baterías portátiles; lámparas de bajo consumo conteniendo mercurio; cartuchos y tonners; envases que en virtud de la sustancia que contuvieron posean características de peligrosidad; envases vacíos de fitosanitarios; neumáticos de desecho; termómetros, esfingomanómetros; acumuladores de ácido plomo; pinturas y solventes; medicamentos; membranas asfálticas. Respecto a neumáticos esta norma que regula los REGU subsume a la **Resolución N° 523/13** de Estrategia de Manejo Sustentable de Neumáticos en su ciclo de vida, aunque no la deroga.

**La Ley N° 27.279.** LPMN de PROTECCION AMBIENTAL PARA LA GESTION DE ENVASES VACIOS DE FITOSANITARIOS. Decreto N° 134/18. Sistema de Gestión Integral de Envases Vacíos de Fitosanitarios que en muchos casos son plásticos.

Sujetos obligados: Aplicador – Centro de Almacenamiento Transitorio - Comercializador - Fitosanitario- Gestión integral de envases vacíos de fitosanitarios - Mejor práctica de gestión disponible (MPGD)- Operador- Registrante – Residuo-Transportista Autorizado –Usuario-

Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión de los envases vacíos de fitosanitarios, que en virtud de la toxicidad del producto que contuvieron, requieren de una gestión diferenciada y condicionada.

*Objetivos:*

Garantizar que la gestión de los envases no afecte la salud de las personas ni el ambiente.

Asegurar que los usos del material recuperado no impliquen riesgos para la salud ni el ambiente.

Establecer y definir etapas y eslabones de la gestión de envases

*Responsabilidad:*

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Deber de cada uno de los registrantes de responsabilizarse objetivamente por la gestión integral y su financiamiento, respecto a los envases de productos fitosanitarios. (se hace cargo del sistema)

Responsabilidad compartida con los restantes eslabones de la cadena, en la medida de las obligaciones específicas que les impone la presente ley. (por ej.: usuario/aplicador triple lavado)

Prohibido el abandono, vertido, quema y/o enterramiento de envases vacíos de fitosanitarios, del mismo modo que la comercialización y/o entrega de envases a personas físicas o jurídicas porfuera del sistema autorizado.

Prohibido el uso del material recuperado para elaborar cualquier tipo de productos que, por su utilización o naturaleza, puedan implicar riesgos para la salud humana o animal, o tener efectos negativos sobre el ambiente.

Prohibida para la realización del procedimiento establecido en el artículo 22 toda carga de agua que implique contacto directo con fuentes y reservorios de agua, mediante inmersión del envase vacío de fitosanitarios.

**La Resolución Conjunta N° 2/2019** determina los usos prohibidos del material recuperado proveniente de los envases vacíos "TIPO A" que hayan sido sometidos al procedimiento de reducción de residuos de fitosanitarios de acuerdo al Artículo 22 de la LPMN N° 27.279. Los usos prohibidos alcanzan a los productos destinados a uso humano cotidiano, personal, doméstico, didáctico, recreativo, uso veterinario destinados a mascotas y a todos aquellos usos que pudieren estar en contacto con agua de consumo o alimentos humano o animal.

Entre los usos prohibidos de envases plásticos: materiales plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos o bebidas durante su elaboración, fraccionamiento, almacenamiento, distribución, comercialización y consumo (ejemplo: envases, vajillas, utensilios y otros); caños, tanques y accesorios para distribución de agua de consumo; envases para fármacos y productos de uso médico; envases para artículos cosméticos y de tocador; envases para productos de uso personal; juguetes; útiles escolares y de escritorio; productos para mascotas; mobiliario; piletas de natación, en sus diversas modalidades y tamaños; productos para higiene personal y puericultura; juegos de plaza y jardín; y vestimenta y calzado.

**La Resolución Nacional N° 155/2023** que modifica la Resolución N° 439/2022, aprueba el régimen transitorio de trazabilidad de los envases vacíos de fitosanitarios Tipo A y Tipo B el cual mantendrá su vigencia hasta la puesta en marcha del Sistema Único de Trazabilidad creado por el artículo 24 de la ley N° 27.279. Esta norma amplía el régimen transitorio de trazabilidad de los envases vacíos de fitosanitarios establecido por la Resolución MADS N°439/2022. El transporte de envases vacíos de fitosanitarios Tipo A y Tipo B, desde el CAT al operador, así como desde el CAT a la industria en el caso de los envases Tipo A, deberá acreditarse mediante carta de porte, cumplimentando los requisitos establecidos al efecto del transporte del tipo de mercancías de que se trate en cada caso conforme lo establecido en la Resolución MADS N°439/22.

Se deja establecido que, tratándose de envases vacíos de fitosanitarios conforme el Inc. b del artículo 5 de la Ley N° 27.279, no les caben ninguna de las restricciones de ingreso a territorios provinciales sin perjuicio de las reglamentaciones provinciales que pudieran establecerse.

Los titulares de los CAT deberán informar mensualmente a la autoridad de aplicación nacional en materia ambiental todos los movimientos hacia los operadores de Envases Vacíos de Fitosanitarios Tipo A y Tipo B respectivamente. Dicha información deberá contener como mínimo: Identificación del CAT (nombre/razón social, CUIT, domicilio, habilitación, responsable técnico); cantidad de envases de cada tipo que se gestiona en el mes correspondiente, Identificación del Operador (nombre/razón social, CUIT, domicilio, habilitación, responsable técnico), tipo de operación a la que será sometido el envase, identificación del destino posterior y su información asociada.

### 8.5.2 Compost, guías para su instalación y programa de adhesión.

#### Normas nacionales.

Resolución Conjunta N° 1/2019 SERVICIO NAC. DE SANIDAD Y CALIDAD AGROALIMENTARIA y SECRETARIA DE CONTROL Y MONITOREO AMBIENTAL (SENASA) Aprueba el marco normativo para la producción, registro y aplicación de compost, de acuerdo a las prescripciones previstas en esta resolución y en los Anexos. Resulta importante tener en cuenta, que los barros o residuos susceptibles de transformarse en enmienda orgánica deben ser registrados y permitida su comercialización por el SENASA.

Resolución Nacional N° 104/2023 del MAyDS de la Nación, crea el plan de compostaje institucional (PCI) en el ámbito de la autoridad de aplicación nacional en materia ambiental, como estrategia de gestión de valorización de residuos orgánicos. El PCI establece las bases para la planificación e implementación de una buena práctica que tienda a la valorización in situ de residuos orgánicos que se generan y optimice las acciones y decisiones que cotidianamente se toman respecto a los residuos orgánicos en el ámbito institucional.

El PCI, se desarrollará en el ámbito de la autoridad de aplicación nacional, e invita conforme el principio de subsidiariedad incluido en la LNPM N° 25675 a las provincias y municipios, instituciones, asociaciones y organizaciones y toda otra entidad pública y/o privada, a adherir al Plan de Compostaje Institucional (PCI). La adhesión será realizada mediante la presentación de la Carta de adhesión firmada por la autoridad correspondiente.

### 8.5.3 Normas específicas sobre plásticos a nivel nacional

**RESOLUCIÓN 2019-407-APN- SGAYDS #SGP.** Aprueba los lineamientos tendientes a lograr el manejo ambientalmente racional de los plásticos en todo su ciclo de vida, a fin de mitigar el avance de la contaminación de los cuerpos de agua a causa de sus residuos y microplásticos y su consecuente impacto en el ambiente.

Marca cinco ejes: 1. Extracción de materiales: reducir las nuevas demandas; 2. Procesamiento de materiales: reducir emisiones y contaminación; 3. Producción: reducir la cantidad de materiales, agua, energía, embalaje por producto; Fase de uso: aumentar el promedio del ciclo de vida, ralentizar los ciclos de recursos; hacer un uso más eficiente al reducir pérdidas y desperdicios, cerrar bucles; 4. Tratamiento de fin de vida: aumentar el material suministrado por reutilización, reciclado y cierre de ciclos de recursos incluyendo la recuperación energética como última instancia; y 5. Consumo responsable

**Resolución Conjunta 2/2020 del MAyDS de la Nación y el MINISTERIO DE TRANSPORTE.** Declara de interés de la autoridad ambiental nacional de aplicación y del MINISTERIO DE TRANSPORTE DE LA NACIÓN, aquellos procesos productivos desarrollados en la República Argentina, que, a partir de la valorización de residuos generados en el país con residuos termoplásticos, permitan obtener durmientes y productos análogos para su empleo en la infraestructura del transporte ferroviario nacional, en el marco de los presupuestos que surgen de los principios de la economía circular y desarrollo sostenible.

**Resolución MERCOSUR/GMC/RESOLUCIÓN N° 30/07.** Aprueba el "Reglamento Técnico MERCOSUR sobre envases de polietilentereftalato post consumo reciclado grado alimentario (PET-PCR grado alimentario) destinados a estar en contacto con alimentos", que consta como anexo y forma parte de esta resolución que tiene validez en el ámbito del Mercosur.

La norma se dictó en base a los estudios realizados que avalan la inclusión de nuevas tecnologías para el reciclado de PET post consumo y se fundamentan en la evaluación de la seguridad del uso del material mencionado. Así, se reglamenta el uso de los envases de PET post consumo reciclado grado alimentario (PET- PCR grado alimentario) – y de envases de PET-PCR grado alimentario destinados a estar en contacto con alimentos-.

#### 8.5.4 Planes y programas nacionales que invitan a las jurisdicciones locales a su adhesión

**Resolución N° 453/2019 del MAyDS de la Nación. SISTEMA DE GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS PELIGROSOS Y OTROS (GIRO).** Se crea el SISTEMA DE GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS Y OTROS (GIRO), cuya implementación será llevada a cabo por la autoridad de aplicación ambiental nacional a través de sus dependencias. La norma otorga un plazo de 60 días corridos, una vez puesto en marcha el programa luego del ingreso al sistema GIRO, para que todos los generadores, transportistas y operadores que desarrollan su actividad en diferentes jurisdicciones, procedan a registrarse y dar de alta a los establecimientos para poder emitir manifiestos a través del mismo.

Conforme lo antes mencionado, la norma invita a las jurisdicciones locales que deseen adherir al sistema GIRO para tratar los residuos dentro de su territorio, a emitir - sancionar, dictar- la normativa respectivamente a fin de instruir a los administrados en

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

sus territorios para realizar el correspondiente registro y ulterior implementación completa del sistema creado por esta resolución.

**Resolución N°454/2020 del MAyDS de la Nación.** Establece el procedimiento de regularización de obligaciones total o parcialmente incumplidas por las Municipalidades, en el marco de los “Programas para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos” GIRSU de la ex Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable ante la actual autoridad de aplicación nacional de la norma, y la Resolución Nacional 281/2023 aprueba el reglamento operativo del programa de gestión de residuos sólidos urbanos II (GIRSU II) actuante en jurisdicción del MAyDS y financiado parcialmente con recursos provenientes del préstamo BID 5567/OC-AR, según figura en el Anexo.

La **Resolución N° 290/2021 del MAyDS de la Nación.** Crea el Programa Nacional de Fortalecimiento de la Economía Circular, Inclusiva, Comunitaria y Local “PRECICLO”, cuyo objeto es fortalecer, con un enfoque de economía circular e igualdad de género, a la gestión integral de residuos domiciliarios en distintos centros urbanos del país. Se llegará al objetivo del programa a través de proyectos que promuevan la inclusión social de las y los trabajadores recuperadores, así como la mejora de las condiciones socioambientales en barrios populares del país. De esta manera, se busca fortalecer los circuitos de recolección, recuperación y valorización de residuos e impulsar mejoras en las condiciones laborales y socioambientales de los recuperadores urbanos que trabajan en centros urbanos, así como acrecentar la limpieza de los barrios populares del país.

El desarrollo del Programa se realizará a través de la entrega de bienes o asistencia financiera, según las características necesarias de cada proyecto, trabajando en cinco líneas de acción:

- recolección diferenciada de residuos domiciliarios,
- recolección en barrios populares,
- re funcionalización de plantas de reciclado,
- valor agregado de materiales reciclables,
- capacitación y promoción ambiental en gestión de residuos.

**La Resolución N° 642/2021 del Ministerio de Desarrollo Social.** Aprobó el “Programa Argentina Recicla”, el que busca promover la inclusión social y laboral de aquellos trabajadores y trabajadoras no reconocidos que realizan trabajos de recolección y recuperación de residuos sólidos urbanos y dan un servicio ambiental fundamental.

El Programa Argentina Recicla, tiene objetivos generales y objetivos específicos.

Objetivos generales

Promover la implementación de sistemas integrados de gestión de residuos sólidos urbanos, con inclusión social.

Mejorar las condiciones laborales y productivas de los recuperadores urbanos (cartoneros, recolectores y recicladores) en todo el territorio nacional.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN  
UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Promover la recuperación, reciclado y la disminución del enterramiento de residuos sólidos

Potenciar la capacidad de recuperación y procesamiento de materiales reciclables al fortalecer el trabajo de los recuperadores urbanos.

Ampliar los circuitos de comercialización e impulsar proyectos para el tratamiento de nuevas corrientes de residuos.

**Objetivos específicos**

Fortalecer entidades y organizaciones de recuperadores urbanos para mejorar las condiciones mínimas de higiene y seguridad en el trabajo.

Fortalecer el trabajo de los recuperadores urbanos en todas sus etapas.

Fomentar acciones de promoción ambiental en base a los servicios de recolección y reciclado de residuos sólidos urbanos.

Fomentar la recolección diferenciada puerta a puerta y en grandes generadores de residuos sólidos urbanos.

Robustecer los circuitos de comercialización de los materiales reciclables recolectados para mejorar su competitividad en relación a precios de venta, dar autonomía y así mejorar los ingresos y calidad de vida de los recuperadores urbanos.

Fortalecer proyectos y emprendimientos productivos para agregar valor a los materiales recolectados.

Insistir para que los municipios implementen normativa que permita fortalecer los sistemas integrados de gestión de residuos sólidos urbanos, desde una perspectiva de inclusión social.

**La Resolución Nacional N° 27/2023 del MAgDS de la Nación.** Crea el Programa Nacional de Valorización de Residuos Orgánicos (PROVO) en el ámbito de la autoridad de aplicación nacional. Los objetivos generales y específicos del Programa Nacional de Valorización de Residuos Orgánicos (PROVO) son los que se establecen a continuación:

Objetivos generales:

1. Relevar el estado de situación en el ámbito federal referida a la generación y gestión de residuos orgánicos, y de los materiales derivados de su valorización;

Formular metas nacionales de reducción y valorización orgánicos para la optimización de recursos, reducción de huella de carbono, fomento de la economía circular y cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible;

Difundir, implementar, adaptar, adecuar y actualizar la normativa vigente en la materia con alcance

nacional;

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN  
UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Asesorar y acompañar el desarrollo armónico de la normativa en los diversos niveles de gobierno y

de las instituciones con competencia en la materia;

Promover acuerdos interinstitucionales, nacionales e internacionales, de cooperación técnica en la materia con organismos públicos y privados y asociaciones de profesionales;

Asesorar técnica y normativamente a instituciones públicas nacionales, provinciales y municipales y organizaciones civiles en lo referido a modalidades, escalas, requerimientos, metodologías de valorización de residuos orgánicos, y de los materiales derivados de ella;

Formular, implementar, acompañar y/o dar seguimiento con alcance nacional a proyectos integrales de valorización de residuos orgánicos y de uso y aplicación de los materiales resultantes;

Fortalecer las capacidades locales y de la sociedad civil en la materia, con perspectiva de gestión integral e inclusiva y de género de los residuos orgánicos, y de los materiales derivados de su valorización;

Generar información técnica contemplando las particularidades de los tratamientos y las diversidades regionales del país.

**Programa para parques nacionales y áreas protegidas.** Dada la responsabilidad y obligación de la autoridad nacional ambiental de aplicación y de la APN en la protección y regulación de las áreas protegidas de su jurisdicción y administración, resulta necesario tomar acciones concretas que tiendan a la regulación de estos elementos.

El reglamento para la reducción progresiva y la prohibición específica de los plásticos de un solo uso en los parques nacionales y áreas protegidas. La iniciativa se alinea con distintos esfuerzos internacionales que tienden a la eliminación de la presencia en los ecosistemas de estos componentes.

La medida promueve la disminución gradual de estos objetos y busca su prohibición, lo que involucra la entrega al consumidor final, la distribución y comercialización y el ofrecimiento a la vista de los productos plásticos de un solo uso en todas las áreas protegidas en jurisdicción de dicho organismo. La decisión alcanza elementos como botellas de bebidas, vajilla y utensilios plásticos descartables; varillas de soporte de globos y los soportes utilizados para el consumo de helados; hisopos y cotonetes realizados con plástico no compostable; bolsas plásticas no reutilizables o compostables; envoltorios y productos cosméticos y de higiene oral con microperlas o micro esferas de plástico.

Vale indicar que los plásticos de un solo uso son productos desarrollados a partir de materiales destinados a ser desechados tras su primer uso, por lo que no son reutilizables y su reciclabilidad es baja por cuestiones técnicas y económicas.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

El reglamento contempla, de todas maneras, que no estarán alcanzados por la restricción los productos que por cuestiones específicas no pudieran ser reemplazados por materiales alternativos.

De este modo, prestadores, permisionarios y concesionarios de las áreas protegidas nacionales deberán implementar el reglamento. Todas las habilitaciones para el desarrollo de servicios turísticos en jurisdicción de la APN incluirán este aspecto, salvo excepciones puntuales debidamente justificadas, las que serán consideradas por el organismo. La norma establece un plazo de seis meses para que las concesiones vigentes y permisos habilitados readapten sus procesos y dispongan el cese definitivo de la utilización de plásticos de un sólo uso o su reemplazo por productos reutilizables o realizados con materiales compostables. Dado el cierre vigente al público por la pandemia de COVID-19, el plazo comenzará a regir al día siguiente de la reapertura de las áreas protegidas.

**Resolución Nacional N° 416/2020 del MAyDS de la Nación.** Aprueba el “Reglamento operativo específico para la entrega de bienes aplicables a la gestión de los residuos sólidos urbanos a favor de gobiernos locales”.

El Gobierno Local firmará un Convenio con la autoridad de aplicación ambiental nacional, asumiendo el compromiso de cumplimentar, en un lapso de 90 días corridos a partir de su celebración, la totalidad de los requerimientos establecidos en el reglamento operativo específico, previo a la ejecución del financiamiento de la inversión.

En caso de no cumplimentarse este compromiso, se declarará automáticamente extinto el Convenio, sin responsabilidades para el Ministerio.

El Gobierno Local en carácter de “Beneficiario” del Programa, indicará el tipo de equipamiento para el cual solicita el financiamiento, junto con una descripción técnica que indique las características y funcionalidades de la misma, tareas, necesidades y demás información que se detalla más adelante.

**Resolución Nacional N° 185/2021 del MAyDS de la Nación.** Aprueba el “Reglamento operativo - obras de saneamiento y remediación de basurales a cielo abierto”.

La norma incluye en el Reglamento Operativo Específico del Proyecto (ROEP) los términos y condiciones que se aplicarán en la implementación del programa a obras específicas de saneamiento y remediación de basurales a cielo abierto para aquellos organismos beneficiarios que lo soliciten ante la autoridad de aplicación ambiental nacional. Se podrá solicitar a ejecución de obras para el saneamiento de basurales a cielo abierto en desuso, y para los que actualmente se encuentren en actividad, disponiendo residuos en un sitio de disposición final controlado. El objetivo de este reglamento es mejorar la gestión de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en jurisdicciones locales que no puedan abandonar este sistema de gestión de sus residuos.

El Reglamento Operativo Específico del Proyecto (ROEP) está compuesto por el cuerpo principal y sus anexos. Estos últimos deberán ser completados por el Gobierno

local o Consorcio y ser presentados, en formato papel, mediante correo postal ante la autoridad de aplicación ambiental nacional.

### 8.5.5 Normas de las jurisdicciones locales

#### Normativa Provincia de Buenos Aires

##### A. Normas Generales.

Decreto Ley N° 9111/1978. Por esta norma se aprueba la disposición final de los RSU de treinta y tres partidos del área metropolitana y de la entonces Municipalidad de la Ciudad de Buenos Aires – a la fecha de esta publicación Ciudad Autónoma de Buenos Aires-, en el relleno sanitario creado al efecto. La norma aprueba la organización de la Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) que opera los rellenos sanitarios.

Se establece en esta norma el sistema de disposición final mediante relleno sanitario únicamente quedando prohibido permitir la instalación de basurales, y debiendo además suprimir los existentes en las jurisdicciones locales comprendidas.

Actualmente el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) comprende, además de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires los siguientes Partidos de la Provincia de Buenos Aires: Vicente López, San Isidro, San Fernando, Tigre, Gral. Sarmiento, Gral. San Martín, Tres de Febrero, Morón, Merlo, Moreno, La Matanza, Es. Echeverría, Almirante Brown, Lomas de Zamora, Quilmes, Avellaneda, Lanús, Florencio Varela, Berazategui, Berisso, Ensenada y La Plata). A posteriori se sumaron: Campana, Zarate, Lujan, Exaltación de la Cruz, San Miguel, presidente Perón, Las Heras, Cañuelas, San Vicente, Marcos Paz, Escobar, Pilar, General Rodriguez, Hurlingham, Ituzaingó, Jose C. Paz, Brandsen, Ezeiza y Malvinas Argentinas llegando al número de 41.

Además de lo antes expresado, el CEAMSE posee la función de asesoramiento técnico a todos los municipios de la Provincia, en materia de limpieza urbana y disposición final de la basura.

En lo concerniente a la aplicación de las normativas actualmente vigentes en la Provincia de Buenos Aires, muchas de ellas fueron concebidas cuando la autoridad de aplicación era la Secretaría de Política Ambiental (SPA), que en 2008 se transformó en el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS), el cual el 29 de diciembre de 2021 adquiere el rango de ministerio y su denominación es Ministerio de Ambiente (MAPBA).

Ley N° 13.592. Resoluciones OPDS N° 63/1996 y 188/12 - modificada por Ley N° 13.657 (2007) “Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos”. Esta norma fijó los procedimientos de gestión de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), de acuerdo con lo establecido por la LPMN N° 25.916 de presupuestos mínimos para la gestión integral de residuos domiciliarios. Establece los principios, conceptos básicos y objetivos en que se funda la gestión integral de los RSU para la provincia.

Se establece por este cuerpo normativo, la obligación de los municipios de presentar ante la autoridad de aplicación ambiental provincial un programa de gestión integral de

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

los RSU para su aprobación, regulando además sobre la fiscalización y aplicación de sanciones en el caso de incumplimiento de las obligaciones que contiene la ley. A los fines de su efectivización, crea un fondo para la protección y restauración ambiental, destinado al cumplimiento de la ley estableciendo además incentivos.

Sus principios son:

- Minimización de la generación, la reducción del volumen y la cantidad total;
- Consideración de los residuos como un recurso y valorización de los mismos;
- Obligación de toda persona física o jurídica que produce, posee o gestiona un residuo, de asegurar o hacer asegurar su eliminación conforme a las disposiciones vigentes.
- La necesidad de la educación y concientización relacionada con la separación en origen y reciclado de los residuos.

Como los municipios son los principales responsables de la gestión de residuos en sus territorios, se establece en esta ley que éstos quienes deben elaborar planes o programas de gestión integral de RSU que apunten a “incorporar paulatinamente en la disposición inicial la separación en origen, la valorización, la reutilización y el reciclaje en la gestión integral de los residuos”, debiendo establecer metas progresivas de reducción en la disposición final de RSU en rellenos sanitarios.

Por su parte, para la autoridad de aplicación ambiental provincial, debe:

- Diseñar la política de instrumentación de la GIRSU que establezca los objetivos, etapas, plazos, y contenido de las acciones por desarrollar.
- Prestar asistencia técnica, legal y financiera para la elaboración de los PGIRSU municipales, así como su evaluación y aprobación.
- Promover la creación, integración y articulación de los circuitos de reciclado y los circuitos económicos necesarios para los mismos sean eficaces.
- Promover la necesaria participación de la comunidad en los planes y programas, implementado, en concordancia con los Municipios, programas de educación formal e informal para las diferentes etapas de la GIRSU.

Reducción en la generación de RSU: la ley estipula que los programas municipales debían en el plazo de cinco (5) años alcanzar una reducción del treinta por ciento (30%) de la totalidad de los residuos con destino a disposición final comenzando el primer año con una campaña de concientización, para continuar con una progresión del diez por ciento (10%) para el segundo año, veinte por ciento (20%) para el tercer año y treinta por ciento (30%) para el quinto año.

Por su parte, a partir de la sanción de la ley, los municipios comprendidos en el Decreto Ley N° 9111/78, que disponen sus RSU en la CEAMSE por formar parte del AMBA, tenían un plazo de tres (3) meses para optar si continuaban o no bajo su dependencia.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

La norma invita a los municipios a firmar acuerdos regionales y crea los “Polos Ambientales Provinciales”, que son sitios de disposición final impulsados directamente por la Provincia para aquellos municipios donde no existan sitios aptos de disposición final, contemplándose una compensación para aquellas jurisdicciones receptoras de los “Polos Ambientales”.

Para terminar este apretado resumen de la norma en análisis, se menciona que se incorporan como sujetos parte del sistema de gestión de los residuos, a los trabajadores informales para acciones que contemplen la asimilación de los circuitos de recolección y clasificación de residuos.

Decreto PEP N° 1215/10. Reglamentación de la Ley N° 13.592. Mediante este decreto se reglamentó la Ley N° 13.592. Establece la posibilidad de aplicar sanciones a los municipios que no cumplan con las obligaciones de la ley. Determina los lineamientos generales para elaborar los planes municipales, y crea la obligación para los Municipios de desarrollar un programa de erradicación progresiva de basurales.

Establece en forma indicativa colores para los contenedores donde se segreguen los residuos.

Ley N° 11.723. “Ley Integral de Medio Ambiente o de Conservación del Ambiente”. Su Capítulo VII regula la gestión ambiental de los RSU, y establece para toda la provincia que la gestión municipal en el manejo de los residuos, implementará los mecanismos tendientes a:

- a) La minimización en su generación.
- b) La recuperación de materia y/o energía.
- c) La evaluación ambiental de la gestión sobre los mismos.
- d) La clasificación en la fuente.

Los organismos provinciales competentes y C.E.A.M.S.E. deberán:

- i. Brindar la asistencia técnica necesaria a los fines de garantizar la efectiva gestión de los residuos.
- ii. Propiciar la celebración de acuerdos regionales sobre las distintas operaciones a efectos de reducir la incidencia de los costos fijos y optimizar los servicios.

Decreto PEP N° 2014/08 Aprueba el Convenio suscripto entre el EX OPDS y la CEAMSE en enero de 2008 con los objetivos de: i) erradicación de basurales a cielo abierto y vertederos no autorizados; ii) saneamiento y recuperación de los predios impactados para espacios verdes y parques recreativos y su forestación; y iii) limpieza de los cursos de agua

Decreto PEP N° 2615/08 Aprueba el Convenio suscripto en abril de 2008 entre el EX OPDS y el CEAMSE para brindar asistencia a todos los municipios de la provincia.

Ley N° 14.273. Esta norma establece que a partir del 1° de enero de 2011 los grandes generadores de residuos domiciliarios o asimilables a éstos, ubicados en los municipios comprendidos por el Decreto-Ley 9.111/78, así como los que se hayan

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

integrado con posterioridad, se incorporarán al programa de generadores privados de la Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE), debiendo hacerse cargo de los costos del transporte y la disposición final de los residuos por ellos producidos, de acuerdo al esquema tarifario vigente para dichos generadores privados.

Para el resto de los partidos de la provincia de Buenos Aires, la ley también establece que los grandes generadores deberán hacerse cargo de los costos de transporte y la disposición final de los residuos por ellos producidos

Si bien esta norma es muy corta, determina que serán grandes generadores: los super e hipermercados, los shoppings y galerías comerciales, los hoteles de 4 y 5 estrellas, comercios, industrias, empresas de servicios, universidades privadas y toda otra actividad privada comercial e inherente a las actividades autorizadas, que generen más de mil (1.000) kilogramos de residuos al mes.

Las resoluciones de la autoridad de aplicación provincial N° 137/2013, 138/2019 (suplantada por la resolución OPDS N° 317/2020) y la 139/2013, reglamentan esta ley sólo para los grandes generadores de residuos que se encuentren dentro del área del AMBA donde aplica el Decreto-Ley N° 9.111/78. Por su parte, para los residuos generados por dependencias de la administración pública nacional con asiento en la provincia y provinciales, se aprobó la resolución N° 331/2023 del MAPBA, en la que se establece que las dependencias de la Administración Pública nacional y provincial asentadas en la Provincia de Buenos Aires que generen más de 1000 kilos al mes, deben presentar también a la autoridad de aplicación ambiental provincial un Plan de Gestión Integral e Inclusiva de Residuos de la Administración Pública (GIRA).

Resolución OPDS N° 137/13. Establece que los emprendimientos urbanísticos (Clubes de Campo y Barrios Cerrados) ubicados en el AMBA deben implementar un Plan de Gestión diferenciada de RSU. La resolución aplica en el área Metropolitana de la Provincia de Buenos Aires sólo a clubes de campo o barrios cerrados.

El área Metropolitana es la zona comprendida por los municipios incluidos en el Decreto- Ley N° 9.111/78, así como los que se hayan integrado con posterioridad a dicho sistema. A saber, los cuarenta partidos bonaerenses, son: Almirante Brown, Avellaneda, Berazategui, Berisso, Brandsen, Campana, Cañuelas, Ensenada, Escobar, Esteban Echeverría, Exaltación de la Cruz, Ezeiza, Florencio Varela, General Las Heras, General Rodríguez, General San Martín, Hurlingham, Ituzaingó, José C. Paz, La Matanza, Lanús, La Plata, Lomas de Zamora, Luján, Marcos Paz, Malvinas Argentinas, Moreno, Merlo, Morón, Pilar, Presidente Perón, Quilmes, San Fernando, San Isidro, San Miguel, San Vicente, Tigre, Tres de Febrero, Vicente López, y Zárate.

Los sujetos Clubes de Campo y Barrios Cerrados regulados por el Decreto-ley N° 8.912/77 y los Decretos N° 9.404/86 y N° 27/98, tienen la obligación de presentar un plan de gestión diferenciada anual de residuos sólidos urbanos o asimilables a estos, debiendo hacerse cargo de su separación en origen y transporte de la fracción reciclable para su tratamiento.

Todos los generadores alcanzados por esta norma deben nombrar un representante o referente ambiental, los que obligatoriamente deberán asistir a los talleres de

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

capacitación, que realice la autoridad ambiental provincial, con el objeto de concientizar sobre las ventajas de la separación en origen y las posibilidades de implementación.

Esta norma, entro en vigencia a partir del 1ero de febrero de 2014, fijándose para la presentación del plan 60 días posteriores a su entrada en vigencia. Una vez aprobado el mismo, 30 días antes del vencimiento del plazo de un año (validez del plan) debe presentarse el pedido de renovación. La Autoridad de Aplicación podrá requerir en cualquier momento los planes anuales en inspecciones.

Por incumplimiento a las disposiciones de la norma se aplicarán las sanciones contenidas en el artículo 18 la Ley N° 13.592, incisos: a) Apercibimiento; y b) Multa de aplicación principal o accesorio entre uno (1) y mil (1.000) salarios de un agente de la Administración Pública, agrupamiento administrativo, categoría inicial.

Resolución OPDS N° 317/2020 que suplanta la Resolución OPDS N° 138/2013. Deroga la resolución 138/2013 que los regulaba hasta el presente, y establece el marco regulatorio aplicable a los generadores especiales existentes en el territorio provincial en lo atinente a la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Esta norma entró en vigencia a partir del 01 de marzo de 2021.

La norma incluye y define como Generadores Especiales regulados por la misma a los supermercados, los hipermercados, los shoppings y galerías comerciales, los establecimientos en los que se brindan los servicios de alojamiento u hospedaje, comercios, empresas de servicios, centros de distribución, universidades públicas y/o privadas, toda otra actividad privada comercial no listada inherentes a las actividades autorizadas, y a las dependencias de la administración pública, que generen más de mil (1.000) kilogramos de residuos al mes.

Los generadores especiales comprendidos en la resolución son económica y ambientalmente responsables en la gestión integral de sus residuos sólidos urbanos, comprendiendo a la generación, disposición inicial selectiva, recolección, transporte, transferencia, tratamiento y disposición final. Para esto, dichos generadores especiales deberán presentar ante la autoridad ambiental provincial, un Plan de Gestión integral e inclusiva de Residuos Sólidos Urbanos de conformidad con lo dispuesto en el Anexo I de la norma, el que será aprobado a través de un Certificado de Gestión integral.

El Plan a efectos de su aprobación deberá ser presentado y rubricado por un profesional registrado ante el organismo ambiental en el Registro de Profesionales (RUPAYAR), previo pago de la tasa que se creará al efecto.

El plan deberá contener:

La separación en origen de sus residuos sólidos urbanos en al menos dos fracciones: reciclables y no reciclables.

La recolección diferenciada, transporte, tratamiento- sea de acondicionamiento y/o de valorización- y de disposición final de los residuos sólidos urbanos generados.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

El envío de la totalidad de la fracción seca reciclable a un Destino Sustentable habilitados por el organismo ambiental, en el marco de la Resolución OPDS 367/10 y/o la que en el futuro la reemplace.

Llevar un registro de operaciones en el que se vuelquen, como mínimo, mensualmente las acciones realizadas en el marco de la gestión integral de sus residuos.

Presentar acciones de sensibilización y capacitación en gestión sostenible de los residuos a empleados, clientes y a la comunidad en general.

Descripción de actividades tendientes a la reducción en la generación de residuos.

Mejoras a implementar en las instalaciones tendientes a una optimización en la separación.

Acciones de sensibilización y tratamiento de la fracción orgánica reciclable mediante compostaje y/o utilización como combustible del Aceite Vegetal Usado (AVU).

El plazo de vigencia del Plan y Certificado será de dos (2) años -a diferencia de los de las resoluciones 137/2013 y 139/2013 que los planes son anuales- y comenzará a regir a partir de la fecha de notificación del acto administrativo de aprobación. Su renovación deberá ser solicitada dentro de los treinta (30) días hábiles administrativos anteriores a la fecha de su vencimiento.

Para su fiscalización y control la autoridad ambiental provincial podrá suscribir convenios con los Municipios, a efectos de coordinar las acciones necesarias para verificar el cumplimiento de las disposiciones contenidas en la misma. Asimismo, podrá suscribir convenios de colaboración con diferentes organismos públicos de la Provincia y/o Universidades Públicas, a efectos de optimizar la implementación de la presente Resolución.

Resolución OPDS N° 139/2013. Establece que los establecimientos industriales considerados como grandes generadores ubicados en el AMBA, deben implementar un Plan de Gestión diferenciada de RSU conforme esta resolución, el resto de los establecimientos industriales de la provincia no alcanzados por esta norma deben tener sus planes conforme lo establecido en la Ley N° 14.273.

Esta resolución establece la obligación de presentar un plan de gestión diferenciada anual de residuos sólidos urbanos o asimilables a estos, debiendo hacerse cargo de su separación en origen y transporte de la fracción reciclable para su tratamiento. De la misma forma que lo establece la Resolución OPDS N° 137/2013 aplicable a grandes emprendimientos urbanos, todos los generadores alcanzados por esta norma deben nombrar un representante.

Se fija para la presentación del plan la fecha de renovación del Certificado de Aptitud Ambiental. Los planes tienen validez de un año, por lo que treinta (30) días antes del vencimiento se debe poseer el nuevo plan. La Autoridad de Aplicación podrá requerir en cualquier momento los planes anuales en inspecciones.

Por su parte el artículo 2do. de la Resolución OPDS N° 139/2013, establece que en los planes se debe incluir:

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

a) Un programa que contenga pautas de reducción gradual, separación en origen, reutilización, disminuir el volumen de aquellos residuos destinados a relleno sanitario y en general toda medida tendiente a minimizar el consumo de recursos naturales, aprovechando aquellos elementos que por su naturaleza puedan servir de insumo para otros procesos.

b) Separación en origen: es la acción por la cual el generador clasifica en origen los residuos a su cargo, en dos fracciones: secos y húmedos. Los residuos secos deberán ser dispuestos en bolsas verdes y los húmedos en bolsas negras o grises con el objeto de reducir el volumen de los residuos a disponerse finalmente, debiendo hacerse cargo de los costos de transporte y disposición final.

Se establece que los Municipios comprendidos en el Área Metropolitana de Buenos Aires deberán verificar el cumplimiento de las disposiciones de la Resolución en cuestión, tanto para las Industrias de 1ª como de 2ª Categoría, cuyos Municipios hayan recibido la delegación de funciones de la autoridad de aplicación ambiental de la provincia.

Por incumplimiento de esta norma se aplicarán las sanciones contenidas en el artículo 18 la Ley N° 13.592, incisos: a) Apercebimiento; y b) Multa de aplicación principal o accesoria entre uno (1) y mil (1.000) salarios de un agente de la Administración Pública, agrupamiento administrativo, categoría inicial.

Resolución SPA N° 1143/2002. Establece pautas para la instalación de plantas y centros de disposición final de RSU por sistema de rellenos sanitarios.

Resolución OPDS N° 353/2010. Establece la posibilidad de realizar relleno de canteras con residuos inertes, restos de poda, de la demolición y la construcción, por esta norma se contempla la posibilidad de desarrollar tareas de relleno de canteras que se encuentran en explotación y/o las que se hallan abandonadas, con materiales y residuos denominados inertes, residuos de poda y todo otro residuo asimilable en sus características, para lo cual se debe presentar ante la autoridad de aplicación ambiental provincial, un estudio de impacto ambiental.

Resolución OPDS N° 367/2010 (Reemplaza la Resolución SPA N° 1142/02) Crea el Registro Provincial de Tecnologías de Recolección, Tratamiento, Transporte y Disposición final de RSU, lo que fue modificado por la Resolución N° 20/2014. Esta norma permite la inscripción de cooperativas y asociaciones que nuclean a recolectores informales. Para ello, se estableció que las tecnologías que sólo consistan en el acopio o almacenamiento transitorio, segregación, acondicionamiento, compactado, enfardado o prensado estarán exentas de efectuar las presentaciones técnicas que resultan obligatorias para las plantas de tratamiento y/o disposición.

En todos los casos, la Autoridad de Aplicación, procederá a evaluar la documentación acompañada en un plazo de noventa días. En su caso, otorgará el correspondiente permiso el que podrá ser cancelado, con efectos a futuro, cuando nuevos estudios así lo aconsejen”.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Resolución OPDS N° 40/14 reglamenta la Ley Provincial. N° 14.321. Establece el conjunto de pautas, obligaciones y responsabilidades para la gestión sustentable de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEES) en la provincia.

Por la resolución se crean los Certificados de Recepción y de Operación de Residuos de Aparatos Eléctricos o Electrónicos (RAEEs) destinados a acreditar las operaciones sobre electrodomésticos de línea blanca a incluir en el “Programa de Fomento a la Producción y Comercialización de Aparatos Eléctricos de Uso Doméstico Eficientes Energéticamente”, denominado “RENOVATE”.

El Certificado de Recepción de Residuos de Aparatos Eléctricos o Electrónicos (RAEEs) deberá ser remitido a las entidades beneficiarias en un plazo no mayor de cinco (5 días) de recibido el bien de recambio. Por su parte el Certificado de Operación de Residuos de Aparatos Eléctricos o Electrónicos (RAEEs) deberá ser remitido a las mismas entidades en un plazo no mayor a los quince (15) días de finalizado el tratamiento y disposición final.

Todo Operador de Residuos de Aparatos Eléctricos o Electrónicos que actúe en el marco de esta resolución deberá tramitar ante la Autoridad su inscripción como tal.

Decreto Provincial N° 735/2021: Designa como Autoridad de Aplicación de la Ley N° 14.321 (que establece el conjunto de pautas, obligaciones y responsabilidades para la gestión sustentable de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEEs) en la provincia de Buenos Aires) a la máxima autoridad con competencia ambiental en la provincia.

Resolución MAPBA N°149/2022: Modifica el artículo 5° de la Resolución RESO-2019-269-GDEBA-OPDS, el que quedará redactado de la siguiente manera: “ARTICULO 5: Crear el Registro Provincial de RAEEs, en el marco de lo previsto por la Ley Provincial N° 14.321, estableciendo el funcionamiento del mismo bajo la órbita de la Dirección de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, dependiente de la Dirección Provincial de Residuos Sólidos Urbanos.

La norma establece que todo gestor refuncionalizador, deberá inscribirse en dicho Registro y gestionar los residuos especiales que eventualmente genere como producto de la gestión de RAEEs bajo el marco de la Ley Provincial N° 11.720”.

Resolución OPDS N° 20/2014. Modifica la Resolución OPDS N° 367/2010 en cuanto a los requisitos a presentar ante la autoridad ambiental provincial, para la inscripción en el Registro Provincial de Tecnologías de aquellas que sólo consistan en el acopio o almacenamiento transitorio, segregación, acondicionamiento, compactado, enfardado o prensado de residuos no peligrosos o especiales.

Resolución OPDS N° 21/14. Aprueba el modelo de Certificado de Tratamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos, el que se genera en forma informática, para su aplicación en el marco de la Ley N° 14.273, y las Resoluciones OPDS N° 137/13, N° 317/20 y N° 139/13.

Resolución OPDS N° 4/2021. Implementa el Registro de Tecnologías de Destinos Sustentables en el marco de lo previsto en el artículo 15 de la Ley Provincial N° 13.592 y su Decreto Reglamentario N° 1.215/10.

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

La norma define DESTINO SUSTENTABLE como las plantas de separación, acondicionamiento y/o valorización de residuos reciclables, entendiéndose por tales aquellos materiales secos susceptibles de aprovechamiento como cartón, papel, plásticos, vidrios, metales, envases mixtos, entre otros, y la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. Las corrientes de residuos abordadas serán:

- Residuos Sólidos Urbanos e Industriales No Especiales asimilables a domiciliarios reciclables secos (Papel, Cartón, Plásticos según tipos, Vidrio, Metal Ferroso, Aluminio, envases mixtos y, otros que la Autoridad de Aplicación considere procedente).
- Residuos Orgánicos (RSU). Conforme lo regulado por la Resolución Conjunta N° 1/2019 (RESFC-2019- 1-APN-SECCYMA#SGP) emitida por el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) y la ex. Secretaria de Control y Monitoreo Ambiental de la Nación que aprueba el Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost (Anexo 3).
- Grasas y Aceites Vegetales Usados de origen gastronómico (RSU). (Productos lipídicos desnaturalizados por su utilización en cocción de alimentos a altas temperaturas, cuyas propiedades físicas, químicas y organolépticas originales se han modificado alterando la composición de los ácidos grasos que lo conforman).

### B. Programas de la Provincia de Buenos Aires

Decreto N° 869/08 Programa "Generación 3R". Impulsa el desarrollo de actividades educativas y participativas a fin de reducir la cantidad de residuos desde el origen, partiendo de la noción de las tres "R" (reducir, reciclar y reutilizar) a propuesta por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Por este programa se han firmado convenios entre la autoridad de aplicación ambiental Provincial y los municipios de la provincia.

Resolución OPDS N° 5/08. Aprueba la identificación visual para los contenedores del Programa "Generación 3R"

Resolución OPDS N° 2/09 Identificación de colores para los contenedores a ser utilizados para la disposición selectiva de residuos.

Resolución OPDS N° 177/2010 Crea el Programa Provincial "Tu Manzana Recicla" que tiene como objetivo articular junto a los municipios y las distintas estructuras de la comunidad el recupero de la fracción reciclable de RSU, disminuyendo el volumen destinado a disposición final, así como divulgar las estrategias locales de separación de residuos en origen. En la práctica, se implementa a través de la formalización de convenios entre la autoridad de aplicación ambiental provincial y los municipios.

Resolución OPDS N° 329/2010. Esta norma establece las pautas de funcionamiento del Fondo para la Protección y Restauración Ambiental, mediante el cual la provincia puede prestar asistencia financiera a los Municipios.

La solicitud debe presentarse ante la autoridad ambiental provincial y los fondos pueden destinarse a: i) proyectos que contemplen la minimización, reducción del volumen, cantidad total y por habitante, reciclaje, aprovechamiento económico,

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

reutilización, valorización, procesamiento, disposición inicial y final de los residuos sólidos urbanos; ii) Tecnologías nuevas en alguna/s de las etapa/s de la GIRSU; iii) Sistemas de selección y tratamiento ambientalmente adecuados de los residuos especiales contenidos en los residuos sólidos urbanos; iv) Solicitudes de colaboración para la limpieza, saneamiento mejora de vertederos controlados y no controlados de basura a cielo abierto; v) Construcción, mejora, adecuación, ampliación y cierre de Plantas de separación, tratamiento y/o procesamiento, transferencia, separación, centro de disposición final, rellenos sanitarios y complejos ambientales, dándose prioridad a acuerdos regionales entre municipios.

Resolución OPDS N° 40/2011. Procedimiento para la presentación del Programa GIRSU municipal y las estadísticas por su cumplimiento.

Todos los Municipios de la Provincia de Buenos Aires, deberían presentar un Programa Básico Preliminar de Residuos Sólidos Urbanos. Una vez notificada la aprobación de la prefactibilidad del mismo, los municipios deben presentar el Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos de acuerdo a los lineamientos que ha establecido el Decreto N° 1215/10 reglamentario de la Ley N° 13.592, el que debe ser aprobado por la Autoridad de Aplicación.

Anualmente los Municipios deben presentar un informe detallado del estado de avance de la implementación del Programa Básico Preliminar, en conjunto con la información estadística prevista en el ANEXO II de la resolución. Con dicha información se conformará un alcance del expediente por el cual se estuviere tramitando el Programa Básico Preliminar y el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos, con la finalidad de cotejar el funcionamiento de los mismos desde la línea de base planteada, los ajustes que requieran hacerse a los mismos, como así también evaluar el cumplimiento de las metas propuestas.

Resolución OPDS N° 535/2019. Crea el PROGRAMA PROVINCIAL DE ECONOMÍA CIRCULAR. El objetivo del programa es promover la Economía Circular articulando acciones junto a los municipios, industrias o las distintas estructuras de la comunidad, para fomentar el cuidado de los recursos naturales, el recupero y valoración de materia y energía de pérdidas y o desechos residuales.

Definición: Se entiende por Economía Circular al ciclo continuo de desarrollo positivo que conserva y mejora el capital natural, optimiza el uso de los recursos y minimiza los riesgos del sistema, al gestionar una cantidad finita de existencias y flujos renovables. Funciona de forma eficaz en todo tipo de escala, y distingue entre ciclos técnicos y biológicos.

La economía circular es un modelo viable y alternativo al modelo lineal de consumo "tomar, hacer, desechar". Su implementación es reparadora y regenerativa, pretende conseguir que los productos, componentes y/o recursos en general, mantengan su utilidad y valor en todo momento.

El Programa Provincial de Economía Circular será asistido "ad honorem" y con carácter no vinculante, por una Mesa Consultiva, que tendrá por objeto asesorar y proponer iniciativas sobre temas relacionados con la Economía Circular y acompañar proyectos públicos-privados.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Se determina la evaluación periódica anual del estado de implementación del Programa Provincial que se crea mediante la presente, a efectos de poder realizar las modificaciones y/o adecuaciones que resulten necesaria.

Resolución OPDS N° 580/2019. Aprueba la Estrategia Provincial para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos Aprueba la Estrategia Provincial para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (EPGIRSU)

También aprueba la guía para el desarrollo del Plan GIRSU de los Municipios de la Provincia de Buenos Aires como Anexo II.

Resolución OPDS N° 85/14. Establece que las Unidades Turísticas Fiscales (UTF), instaladas en el ámbito de los Municipios Costeros del Litoral Marítimo de la Provincia de Buenos Aires, deben implementar un Plan de Gestión diferenciada de los Residuos Sólidos Urbanos, debiendo hacerse cargo de su separación en origen y transporte de la fracción reciclable para su tratamiento.

Se entenderá por:

- a) Residuos sólidos urbanos: elementos, objetos o sustancias generados y desechados producto de actividades realizadas en los núcleos urbanos y rurales, comprendiendo aquéllos cuyo origen sea doméstico, comercial, institucional, asistencial e industrial no especial asimilable a los residuos domiciliarios.
- b) Separación en origen: acción por la cual el generador clasifica en origen los residuos a su cargo, en dos fracciones: reciclables y no reciclables. Los residuos reciclables Deberán ser dispuestos en bolsas verdes y los no reciclables en bolsas negras con el objeto de reducir el volumen de los residuos a disponerse finalmente, debiendo hacerse cargo de los costos de transporte, y tratamiento de los mismos.
- c) Municipios Costeros de la Provincia de Buenos Aires: ámbito comprendido por los municipios situados entre San Clemente del Tuyú y la Localidad de Patagones cuyo territorio se encuentre lindante en su extremo este con el Mar Argentino.
- d) Residuos reciclables: materiales susceptibles de aprovechamiento como cartón, papel, envases larga vida tipo Tetra Brik, plásticos, PET, vidrios, metales, entre otros.
- e) Destino Sustentable: Áreas destinadas al tratamiento de los residuos sólidos urbanos en los términos de lo definido en el artículo 2º del Anexo Único aprobado por el Decreto N° 1.215/10, quedando incluida la gestión realizada por los recuperadores urbanos.
- f) Unidad Turística Fiscal: balnearios integrados con servicios de gastronomía, sombra y demás.

Establece que las Unidades Turísticas Fiscales (UTF) a través de la designación de un referente ambiental, deben presentar el Plan de Gestión de sus residuos sólidos urbanos, de conformidad con lo dispuesto en el Anexo Único de la presente, ante este Organismo, para su aprobación.

Quedan incluidas en el plan de gestión las siguientes obligaciones:

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

- Garantizar el tratamiento y disposición final de la fracción reciclable con destinos sustentables.
- Garantizar la correcta disposición de la fracción húmeda en los espacios acordados que resulten accesibles al sistema de recolección que la municipalidad preste por sí o por terceros.

-La aprobación del Plan de Gestión tendrá una vigencia de un (1) año, contados a partir de la fecha en la que se expidió esta Autoridad de Aplicación.

Las Unidades Turísticas Fiscales (UTF), a través de su referente ambiental deberán solicitar dentro de los treinta (30) días anteriores a la fecha de vencimiento de la aprobación del Plan de Gestión, su renovación; pudiendo este Organismo requerir la documentación o datos que considere necesarios a efectos de expedirse sobre el particular.

Resolución MAPBA N° 112/2022: Aprueba el Programa para la Gestión Integral e Inclusiva de Residuos Sólidos Urbanos y Economía Circular “Mi Provincia Recicla” cuyos objetivos específicos son:

- a) Impulsar el desarrollo de Sistemas GIRSU con Inclusión Social en municipios participantes, promoviendo la separación en origen y recolección diferenciada, y fortaleciendo el trabajo de las y los Recuperadores Urbanos.
- b) Promover el fortalecimiento institucional de los Sistemas GIRSU municipales, a través del impulso de normativas ambientales, capacitaciones y asistencia técnica, así como el desarrollo de programas de Promoción Ambiental.
- c) Potenciar la capacidad de recuperación y procesamiento de materiales reciclables fortaleciendo y mejorando las condiciones de trabajo de los Recuperadores Urbanos agrupados y/o individuales, a través de infraestructura, maquinaria, herramientas, elementos de protección personal, asesoramiento técnico y ampliando los circuitos de comercialización e impulsando proyectos para el tratamiento de nuevas corrientes de residuos.
- d) Promover la integración y participación de los productores y fabricantes de envases con políticas de economía circular en la Provincia de Buenos Aires, que tiendan al fortalecimiento de los sistemas locales de gestión de residuos en los diferentes Municipios
- f) Fortalecer e integrar la presencia de los Programas y ejes de trabajo de los distintos organismos provinciales y nacionales que aborden la integralidad en la inclusión social de las y los Recuperadores Urbanos a través de “Nodos de Reciclado”, así como la problemática ambiental en zonas vulnerables y/o de emergencia propiciando la participación de Municipios, organizaciones y la comunidad local.
- h) Diseñar y desarrollar proyectos asociados a corrientes específicas de residuos que prioricen su regionalización, escala y valorización según: fracción orgánica de residuos (FORSU), Residuos de Aparatos Electrónicos y Eléctricos (RAEEs), Residuos de Construcción y demolición (RCD), Residuos de Poda, Neumáticos Fuera de Uso (NFU), Aceite Vegetal Usado (AVU).

i) Impulsar la regionalización estratégica de nuevos rellenos sanitarios, la disminución de basurales y microbasurales existentes, y mejorar la operación de los BCA abordando las condiciones de trabajo de los Recuperadores Urbanos.

### C. Compostaje

Resolución MAPBA N° 111/2022. Aprueba el “Programa Provincial de Compostaje” cuyo objetivo general es promover en la Provincia de Buenos Aires el establecimiento de composteras domiciliarias y comunitarias en espacios públicos, parques y plazas, establecimientos educativos, comedores comunitarios, espacios de organizaciones de la sociedad civil, entre otros ámbitos, con el fin de concientizar sobre la importancia del proceso de compostaje en el marco de la reducción de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, a través de instancias de aprendizaje, capacitación e intercambio.

Resolución MAPBA N° 102/2023. Aprueba el Reglamento Técnico de las condiciones de localización, acondicionamiento, operatoria, seguimiento y control bajo las cuales se regirá la metodología de tratamiento biológico por compostaje de los residuos orgánicos, conforme al anexo único de la norma. En este sentido define a los sujetos alcanzados como toda aquella persona humana o jurídica que desarrollen el tratamiento biológico por compostaje de los siguientes residuos:

- a. Lodos o barros cloacales y/o mixtos según lo establecido en la Resolución MAyDS N° 410/2018. Aquellos que figuran en el Anexo III de la Resolución Conjunta SCyMA - SENASA N° 01/2019 (entre los que se encuentran Envases biodegradables y bioplásticos que cumplan con la norma en la Ley N° 13432, Residuos de empaquetado: rellenos, absorbentes, protectores, Papel y cartón).
- b. Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) mixta.
- c. Todo otro residuo orgánico no especial que la Autoridad de Aplicación considere pertinente.

Los establecimientos que realizan tratamiento biológico por compostaje de los residuos orgánicos, conforme al Anexo Único, deberán inscribirse ante el Registro de tecnologías de Residuos Sólidos Urbanos correspondiente y los que se encuentran inscriptos y cumplimenten las condiciones establecidas en esta norma deben homologarlos de oficio.

Quedan exceptuados del cumplimiento de la norma: (i) los generadores individuales que produzcan compost para autoconsumo a partir de sus propios residuos orgánicos en composteras domiciliarias o comunitarias, (ii) los generadores especiales de residuos sólidos urbanos según la Resolución OPDS N° 317/2020 que desarrollen el compostaje “in situ”, siempre que no superen la cantidad de 4 toneladas por mes, y (iii) los que produzcan compost para autoconsumo a partir de sus propios residuos orgánicos.

Por su parte se clasifica a los materiales obtenidos del tratamiento biológico por compostaje, según las características físico-químico-biológicas del material resultante, y de la calidad de la materia prima ingresante en:

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

a. Compost de biosólidos clase A y B: según lo normado en la Resolución del MAyDS de Nación 410/2018 para biosólidos tratados por compostaje, según corresponda.

b. Compost clase A y B: según lo normado en la Resolución conjunta SCyMA-SENASA 01/2019, según corresponda.

La clase A y B se establece en función a los contenidos de EPT y la calidad agrícola. Excluye a aquellos provenientes de FORSU mixta; compost clase C conforme al anexo único.

También establece el uso obligatorio del “Certificado de Tratamiento de Residuos” por medio de tratamiento biológico mediante compostaje para todos aquellos establecimientos habilitados para el tratamiento de residuos propios y/o de terceros conforme el anexo único de la norma.

Por su parte los incumplimientos a la presente resolución serán sancionados de acuerdo con el régimen previsto por el Capítulo IV de la Ley Provincial N° 13.592 - a) Apercibimiento. b) Multa de aplicación principal o accesoria entre uno (1) y mil (1.000) salarios de un agente de la Administración Pública, agrupamiento administrativo, categoría inicial. c) Suspensión total o parcial de la concesión y/o autorización otorgada, pudiendo establecerse plazos y condiciones para subsanar las irregularidades detectadas. d) Caducidad total o parcial de la concesión, y/o autorización otorgada. e) Clausura temporal o definitiva, parcial o total del emprendimiento. f) Obligación de publicar la parte dispositiva de la resolución condenatoria a cargo del infractor; y en su caso el plan de trabajo a los fines de recomponer la situación al estado anterior-.

#### D. Normas específicas que regulan los residuos plásticos

La Ley Provincial N° 13.868 Prohíbe en todo el territorio de la Provincia de Buenos Aires, el uso de bolsas de polietileno y todo otro material plástico convencional, utilizadas y entregadas por supermercados, autoservicios, almacenes y comercios en general para transporte de productos o mercaderías. Los materiales referidos deberán ser progresivamente reemplazados por contenedores de material degradable y/o biodegradable que resulten compatibles con la minimización de impacto ambiental.

Los titulares de los establecimientos comprendidos por la presente ley, debieron proceder a su reemplazo, en los siguientes plazos:

a) Doce (12) meses a contar desde la vigencia de la presente, para quienes realizan la actividad económica que conforme códigos de nomenclador de actividades del impuesto sobre los Ingresos Brutos vigente (NAIIB-99) se identifican con los códigos 521.110 (Venta al por menor en hipermercados con predominio de productos alimenticios y bebidas) 521.120 (venta al por menor en supermercados con predominio de productos alimenticios y bebidas) y 521.130 (venta al por menor en minimercados con predominio de productos alimenticios y bebidas) o el que lo reemplace.

b) Veinticuatro (24) meses a contar de la vigencia de la presente, para todos los titulares de establecimientos no incluidos en el punto a).

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Los fabricantes debieron adecuar su tecnología para abastecer a los establecimientos alcanzados por esta ley en el plazo de veinticuatro (24) meses a contar desde su entrada en vigencia.

Excepción: cuando por cuestiones de asepsia las bolsas de polietileno y todo otro material plástico convencional deban ser utilizadas para contener alimentos o insumos húmedos elaborados o preelaborados, y no resulte factible la utilización de un sustituto degradable y/o biodegradable en términos compatibles con la minimización de impacto, las mismas pueden seguir siendo usadas.

La autoridad de aplicación ambiental provincial debió implementar a partir de la promulgación de la ley un programa de sustitución y reemplazo de bolsas de plástico por envases degradables y/o biodegradables que consistirá en:

- 1) Realizar campañas de difusión y concientización sobre el uso racional del material no degradable y/o biodegradable, para el envase y contención de los productos comercializados en dichos establecimientos.
- 2) Invitar a otras empresas relacionadas con la comercialización de productos a adecuarse a las exigencias de la presente ley.
- 3) Informar y capacitar a los destinatarios de esta ley sobre las posibles alternativas que pueden sustituir a los envases de plástico no degradables y/o no biodegradable, asistiéndolos en forma gratuita...

La autoridad de aplicación en coordinación con organismos técnicos nacionales y/o provinciales reconocidos en la materia determinará, la tecnología de aplicación autorizada para la fabricación de bolsas que se comercialicen y/o distribuyan a cualquier título en el territorio de la Provincia de Buenos Aires. Asimismo, determinará las sustancias y materiales que, de conformidad con la normativa específica de aplicación podrán ser empleadas en la confección e impresión de inscripciones en las bolsas a las que refiere la presente ley.

La autoridad de aplicación tendrá facultades de fiscalización respecto al cumplimiento de la presente ley y del reglamento que en su consecuencia se dicte. A tal efecto creará un Registro de Fabricantes, Distribuidores e Importadores de Bolsas, en el que deberán inscribirse todas las personas físicas y jurídicas que fabriquen y/o comercialicen a nivel mayorista las bolsas de transporte, las que deberán contar, en su caso, con una certificación anual de degradabilidad y/o biodegradabilidad de sus productos, expedida por la citada autoridad como requisito obligatorio e indispensable para el otorgamiento de las correspondientes habilitaciones.

La autoridad de aplicación definirá el diseño y leyenda que, para su identificación, los sujetos obligados antes citados deberán incluir en sus productos. Por vía reglamentaria, se fijarán los criterios para determinar la degradabilidad y/o biodegradabilidad de los productos sujetos a certificación en términos que resulten con esta legislación.

El incumplimiento o trasgresión a esta ley, hará pasible a los titulares del establecimiento en el que se verifique la infracción, de la aplicación de las siguientes sanciones por parte de la autoridad de aplicación:

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

- a) Apercibimiento, que podrá ser aplicado a una sola vez al infractor.
- b) Multas, entre diez (10) y hasta mil (1000) sueldos básicos de la categoría ingresante del agrupamiento administrativo –clase 4- o la que en el futuro la reemplace, de la escala salarial de la Ley N° 10.430 (Texto Ordenado por Decreto 1869/96) y sus modificatorias, con régimen de treinta (30) horas semanales de labor.
- c) Decomiso de las bolsas de transporte no biodegradable, conjuntamente con las sanciones de los incisos a), b) o d), según el caso.
- d) Clausura temporaria del establecimiento que no podrá exceder de un (1) mes.
- e) Clausura definitiva del establecimiento.

Por vía reglamentaria se fijarán las pautas para la graduación de las sanciones, en función de la magnitud del incumplimiento, la condición económica del infractor y el carácter de reincidente.

Los fondos que ingresen en concepto de multa, lo harán a la cuenta especial en la jurisdicción de la autoridad de aplicación y serán destinados al cumplimiento de las acciones que competen a la máxima autoridad de aplicación ambiental de la provincia.

Por el DECRETO N° 1.521/2009. Se aprobó la reglamentación de la Ley N° 13.868 de prohibición en la provincia del uso de bolsas de polietileno y todo otro material plástico convencional en supermercados. Promulgación.

A los fines de la Ley N° 13.868, se entenderá por:

Reemplazo progresivo: principio por el cual los objetivos ambientales deberán ser logrados en forma gradual, a través de metas interinas y finales, proyectadas en un cronograma temporal que facilite la adecuación correspondiente a las actividades relacionadas con esos objetivos, conforme el artículo 4° de la Ley Nacional N° 25.675.

Minimización de impacto ambiental: reducción al máximo posible de la magnitud del impacto ambiental, entendido como cualquier cambio y/o efecto producido por una actividad industrial o de servicios susceptible de degradar el ambiente, alguno de sus componentes, o afectar la calidad de vida de la población en forma significativa.

Material degradable: material capaz de sufrir degradación.

Degradación: transformación significativa del material por medio de la ruptura de las macromoléculas, caracterizada en general por la disminución de su masa molecular y la modificación de sus propiedades iniciales. Material biodegradable: capaz de descomponerse rápidamente en condiciones naturales

Para la fabricación de las bolsas contenedores cuyo reemplazo dispone el artículo 1° de la ley objeto de esta reglamentación, se deberá emplear toda tecnología y/o metodología de producción mediante la cual se obtengan bolsas contenedores la Autoridad de Aplicación acredite que cumplen con normativa nacional y/o extranjera sobre degradación y/o biodegradación, según norma “ASTM” (American Society for Testing and Materials), “EN” (European Standard), sus similares “IRAM”, o las que en el futuro se determinen y autoricen a través de la Autoridad de Aplicación.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

La Autoridad de Aplicación con fundamento en el principio de progresividad establecido en el artículo 1º de la Ley N° 13.868, podrá modificar las tecnologías y/o metodologías de producción autorizadas para la fabricación de bolsas degradables y/o biodegradables, en función de la normativa nacional, extranjera reconocida internacionalmente y/o internacional sobre degradación y/o biodegradación y sus futuros desarrollos, que establezca métodos de ensayo sobre degradación y/o biodegradación de materiales plásticos y/o de envases y/o embalajes.

Las inscripciones e impresiones que se coloquen en las bolsas contenedores cuyo reemplazo determina esta Ley N° 13.868, deberán poseer tintas con resinas atóxicas y con pigmentos seleccionados según normas adaptadas a regulaciones extranjeras tales como las emanadas de una o alguna de las siguientes instituciones: "ASTM" (American Society for Testing and Materials), "EN" (European Standard) o "IRAM" (Instituto Argentino de Normalización y Certificación).

Los titulares de los establecimientos indicados en el artículo 2º de la ley objeto de la presente reglamentación, deberán reemplazar las bolsas elaboradas con materiales prohibidos por contenedores degradables y/o biodegradables que hayan sido fabricados y/o distribuidos y/o importados por sujetos inscriptos en el Registro de Fabricantes, Distribuidores e Importadores de Bolsas y cuenten con la identificación que determine la Autoridad de Aplicación.

Todas las personas físicas y/o jurídicas que fabriquen y/o distribuyan y/o importen bolsas de transporte cuyo reemplazo establece la Ley N° 13.868, deberán inscribirse en el registro creado por la Autoridad de Aplicación como requisito obligatorio e indispensable para el otorgamiento de las habilitaciones provinciales y/o municipales pertinentes, según su actividad. El citado Registro estará a cargo de la dependencia de la Autoridad de Aplicación competente en el control y la evaluación de regímenes y normas en materia de políticas de consumo para la preservación y conservación de la calidad del ambiente y de los recursos naturales.

Para la inscripción en el Registro, el titular o responsable del establecimiento deberá presentar ante dicha Autoridad la siguiente documentación:

- a) Tres (3) ejemplares del contenedor o bolsa que fabrica y/o comercializa;
- b) Nota de solicitud de inscripción con los datos del establecimiento suscripta por el titular y su responsable técnico, debidamente acreditado ante la Autoridad de Aplicación, donde conste con carácter de declaración jurada, memoria descriptiva del proceso de fabricación con detalle de las materias primas e insumos utilizados (nombre químico y comercial) para la fabricación del contenedor presentado, con sus respectivas hojas de seguridad. Para el caso en que hubiera modificaciones significativas del proceso de fabricación conforme criterio de la Autoridad de Aplicación, el solicitante deberá acompañar una nueva declaración jurada;
- c) En caso de corresponder, constancia de tramitaciones y/o autorizaciones correspondientes de la Autoridad de Aplicación en el marco de las Leyes N° 11.459, N° 11.720, N° 5.965 y sus correspondientes decretos reglamentarios;

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

d) Resultado del ensayo de degradación y/o biodegradación de sus productos basado en estándares de referencia reconocidos internacionalmente (Norma "ASTM" - American Society for Testing and Materials-, "EN" -European Standard- o sus similares "IRAM") según métodos de ensayo sobre degradación y/o biodegradación conforme determine la Autoridad de Aplicación, realizados por un laboratorio extranjero acreditado bajo Norma ISO 17025 (International Organization for Standardization), o por un laboratorio nacional o provincial, habilitado a tal fin por la autoridad jurisdiccional competente;

e) Protocolo de composición química de las tintas utilizadas como insumos para las inscripciones, fabricaciones e impresiones que se coloquen en las bolsas de transporte, que deberán poseer tintas con resinas atóxicas y con pigmentos seleccionados según normas adaptadas a regulaciones extranjeras tales como las emanadas de una o alguna de las siguientes instituciones: "ASTM" (American Society for Testing and Materials), "EN" (European Standard) o "IRAM" (Instituto Argentino de Normalización y Certificación), realizado por un laboratorio extranjero acreditado bajo Norma ISO 17025 (International Organization for Standardization) o laboratorio nacional o provincial habilitado a tal fin por la autoridad jurisdiccional competente.

La inscripción en el Registro de Fabricantes, Distribuidores e Importadores de Bolsas implicará, una vez autorizada la tecnología y/o metodología de producción presentada, el otorgamiento de un Certificado de Degradabilidad y/o Biodegradabilidad por cada producto presentado por el interesado tiene validez de un (1) año contado a partir de la fecha de notificación del acto administrativo que autorizó su expedición.

Durante el plazo de vigencia del Certificado, los establecimientos inscriptos en el Registro de Fabricantes, Distribuidores e Importadores de Bolsas deberán incluir en sus productos, la identificación visual que determinará la Autoridad de Aplicación y el número de registro otorgado conforme artículo

La Autoridad de Aplicación tendrá a su cargo la implementación del programa de sustitución y reemplazo de bolsas y las acciones que lo conforman enunciadas en la norma ya citada, en el marco de los Decretos N° 23/07 y N° 869/08.

La norma invita a los Municipios a adherir a un programa a fin de coordinar acciones con la Autoridad de Aplicación destinadas a realizar y promover la reducción, sustitución y reemplazo de bolsas de polietileno, polipropileno, y aquellos polímeros no degradables y/o biodegradables.

Cuando mediante la compulsión de actuaciones, o registros administrativos, o por presentaciones de terceros ante la Autoridad de Aplicación se detecten hechos u omisiones constitutivos de presuntas faltas a la Ley N° 13.868 y/o a su reglamentación, la Autoridad de Aplicación procederá a la imputación con mención de la norma violada, disponiendo su notificación fehaciente al administrado, y haciéndole saber que dispone de un plazo de cinco (5) días hábiles para la formulación.

Resolución MAPBA N° 416-2022. Se modifica la anterior Resolución OPDS N° 171/21, y se aprueba el nuevo sello autorizado o de identificación visual para los productos (bolsas) que fabriquen, distribuyan o importen en territorio provincial los establecimientos debidamente inscriptos en el Registro de Fabricantes, Distribuidores

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

e Importadores de bolsas, en el marco de lo establecido en la Ley N° 13.868 y su Decreto Reglamentario N° 1521/09. La mencionada identificación visual deberá situarse en un lugar visible de las bolsas, de manera que resulte fácilmente identificable por el consumidor, sin perjuicio del sistema de impresión utilizado."

Resolución OPDS N°44/2021: Implementa el Registro de Tecnologías de Destinos Sustentables en el marco de lo previsto en el artículo 15 de la Ley Provincial N° 13.592 y su Decreto Reglamentario N° 1.215/10.

La norma define como DESTINO SUSTENTABLE: a las plantas de separación, acondicionamiento y/o valorización de residuos reciclables, entendiéndose por tales aquellos materiales secos susceptibles de aprovechamiento como cartón, papel, plásticos, vidrios, metales, envases mixtos, entre otros, y la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.

Las corrientes de residuos incluidas son:

1. Residuos Sólidos Urbanos e Industriales No Especiales asimilables a domiciliarios reciclables secos (Papel, Cartón, Plásticos según tipos, Vidrio, Metal Ferroso, Aluminio, envases mixtos y, otros que la Autoridad de Aplicación considere precedente).
2. Residuos Orgánicos (RSU). Conforme lo regulado por la Resolución Conjunta N° 1/2019 (RESFC-2019- 1-APN-SECCYMA#SGP) emitida por el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) y la ex. Secretaria de Control y Monitoreo Ambiental de la Nación que aprueba el Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost (Anexo 3)
3. Grasas y Aceites Vegetales Usados de origen gastronómico (RSU). (Productos lipídicos desnaturalizados por su utilización en cocción de alimentos a altas temperaturas, cuyas propiedades físicas, químicas y organolépticas originales se han modificado alterando la composición de los ácidos grasos que lo conforman).

### **Normativa Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA)**

#### **A. Normas generales**

Ley N° 992 mod por ley N° 2146. Esta ley que luego fue absorbida y superada por la ley de Basura cero, y resulta de gran importancia por incorporar a los Recuperadores Urbanos (cartoneros) al Servicio Público de Higiene urbana de la Ciudad de Buenos Aires, creando el Registro Único Obligatorio Permanente de Recuperadores de Materiales Reciclable.

Para incorporar a los recuperadores urbanos en el circuito de recolección se establece lo siguiente:

- a. Concebir una Gestión Integral de los Residuos Urbanos en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, a los fines de permitir la recuperación de materiales reciclables y reutilizables, y se deje sin efecto, como disposición final al entierro indiscriminado de los residuos en los rellenos sanitarios.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

- b. Priorizar la asignación de zonas de trabajo, considerando la preexistencia de personas físicas, cooperativas y mutuales en los lugares.
- c. Coordinar y promover con otras jurisdicciones y organismos oficiales, acciones de cooperación mutua, planes y procedimientos conjuntos que tiendan a optimizar y mejorar el fin de la norma generando procesos económicos que incluyan a los recuperadores.
- d. Diseñar un Plan de Preselección Domiciliaria de Residuos.
- e. Implementar una permanente campaña educativa, con la finalidad de concientizar a los habitantes de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires sobre los siguientes puntos: El impacto favorable que genera la actividad de recuperación y reciclado en su aspecto ambiental, social y económico.
- f. Concientizar también sobre el beneficio que acarrea la separación de residuos en origen y/o previamente a su disposición final, facilitando de este modo el trabajo de los recuperadores, contribuyendo a la limpieza de la Ciudad y al cuidado del medio ambiente.

LEY N° 1854 (llamada de Basura Cero) MOD. POR LEYES N° 5666 Y 5966- La norma define que se entenderá por:

Generadores Especiales de residuos sólidos. Impone la obligatoriedad de los grandes generadores de separar en origen y el fomento a la industria del reciclado por parte del Estado.

Concepto de Basura Cero, en el marco de esta norma, el principio de reducción progresiva de la disposición final de los residuos sólidos urbanos, con plazo y metas concretas por medio de la adopción de un conjunto de medidas orientadas a la reducción en la generación de residuos, la separación selectiva, la recuperación, el reciclado y la valorización.

Sujetos obligados por la norma: (i) hoteles de 4 y 5 estrellas; edificios sujetos al régimen de la propiedad horizontal que posean más de cuarenta (40) unidades funcionales; (ii) bancos, entidades financieras y aseguradoras; (iii) supermercados, minimercados, autoservicios e hipermercados, shoppings, galerías comerciales y centros comerciales a cielo abierto; centros educativos privados en todos sus niveles; (iv) universidades de gestión pública; locales que posean una concurrencia de más de trescientas (300) personas por evento; (v) edificios públicos radicados en la ciudad; (vi) establecimientos pertenecientes a una cadena comercial - entendiéndose por ésta al conjunto de más de cinco establecimientos que se encuentren identificados bajo una misma marca comercial, sin distinción de su condición individual de sucursal o franquicia-(vii) comercios, industrias y toda otra actividad privada comercial que genere más de quinientos (500) litros por día; (viii) todo otro establecimiento que la autoridad de aplicación determine; hoteles que posean 100 o más habitaciones o 200 o más plazas; (ix) embajadas y consulados; (x) todo establecimiento que preste servicios gastronómicos o en donde se elaboren, fraccionen y/o expendan bebidas y/o alimentos; (xi) todo establecimiento de expendio de comidas crudas sean carnes, frutas o verduras; (xii) todo establecimiento comercial donde se alberguen animales,

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

establos, mataderos, corrales, zoológicos; (xiii) edificios privados radicados en la ciudad cuando fueran destinados al desarrollo de la administración pública, ya fuera afectado en su totalidad o en forma parcial; (xiv) clínicas, hospitales, sanatorios o centros de salud privados; (xv) institutos privados que brinden servicios de salud con internación, todo establecimiento que preste servicios gastronómicos y/o donde se elaboren, fraccionen y/o expendan bebidas y/o alimentos, y que generé más de quinientos (500) litros o (200) kilos por día entre residuos húmedos y orgánicos

Ley N° 5966. Se modifica del concepto de basura cero incluido en la Ley N° 1854, el que quedará redactado de la siguiente manera: “Se entiende como concepto de Basura Cero, en el marco de esta norma, el principio de reducción progresiva de la disposición final de los residuos sólidos urbanos, con plazo y metas concretas por medio de la adopción de un conjunto de medidas orientadas a la reducción en la generación de residuos, la separación selectiva, la recuperación, el reciclado y la valorización.”

Se modifica el cronograma de reducción progresiva de la disposición final de residuos sólidos urbanos que conllevará a una disminución de la cantidad de desechos a ser depositados en rellenos sanitarios. Estas metas a cumplir serán de un 50% para el 2021, de un 65% para el 2025 y un 80% para el 2030, tomando como base los niveles enviados al CEAMSE durante el año 2012. Se prohíbe para el 2028 la disposición final de materiales tanto reciclables como aprovechables”.

Se incorpora la obligación de la Ciudad de fijar un cronograma gradual de recuperación de materiales reciclables y aprovechables provenientes del circuito de recolección diferenciada cuyas funciones esenciales seguirán siendo prestadas con exclusividad por los recuperadores, en los términos de la Ley N° 992 --texto consolidado por Ley N° 5666”.

Se prohíbe la combustión de residuos sólidos urbanos sin recuperación de energía. Asimismo, queda prohibida la contratación de servicios de tratamiento de residuos sólidos urbanos de esta ciudad que tenga por objeto la combustión sin recuperación de energía en otras jurisdicciones. Se prohíbe el tratamiento térmico de materiales reciclables o aprovechables provenientes de todo circuito de recolección diferenciada, implementado con exclusividad para esta fracción por la autoridad de aplicación, con excepción del rechazo producto de los mismos.

También por esta norma se establece que la fracción de residuos sólidos urbanos húmedos sólo podrán ser pasibles de transformación y valorización, mediante técnicas de combustión con recuperación energética, previo tratamiento en planta de separación con el fin de seleccionar aquellos materiales factibles de ser reciclados, principalmente cartón, papel y polietileno tereftalato. A tal fin, la autoridad de aplicación tomará medidas y realizará controles periódicos a efectos de dar cumplimiento con lo establecido.

En cuanto a los sistemas de tratamiento de los residuos se entiende por transformación, conversión por métodos químicos (hidrogenación, oxigenación húmeda o hidrólisis), térmicos con recuperación energética o bioquímicos (compostaje,

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

digestión anaerobia y degradación biológica) de determinados productos de los residuos, en otros aprovechables.

Se promueve el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos, incluyendo la combustión con recuperación energética.”

Por su parte para el tratamiento de residuos sólidos urbanos por medio de combustión con recuperación de energía, se establecen las siguientes condiciones:

1. Los servicios de tratamiento que tengan por objeto la combustión de residuos sólidos urbanos con recuperación energética deben utilizar métodos o tecnologías que aseguren el cumplimiento de los estándares de eficiencia energética definidos en la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (Anexo I de la presente), así como sus actualizaciones posteriores.

2. Los límites para las emisiones a la atmósfera producto de la combustión de residuos no podrán superar los límites establecidos en el Anexo VI, Parte 3, de la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo (Anexo II de la presente). La gestión de los residuos resultantes de la combustión debe realizarse según las normas vigentes para el tratamiento de residuos, en particular las cenizas volantes que deben ser consideradas como residuos peligrosos.

3. En el caso de utilizar como tecnología para el tratamiento de residuos sólidos urbanos la combustión con recuperación energética, los residuos sólidos urbanos podrán ser pasibles de valorización energética cuando estos no hayan podido previamente ser recuperados y/o reutilizados en los centros de selección, acondicionamiento o tratamiento “. Asimismo, se deberá garantizar la protección de la salud de las personas y del ambiente.

4. Crea el Sistema de Información Pública del Sector de la Valorización Energética de Residuos (SIPSVER), que permita el monitoreo continuo y permanente de las emisiones en la atmósfera, en el suelo y en las aguas superficiales y subterráneas que resulten de las actividades de combustión con recuperación energética. Los resultados obtenidos deberán ser remitidos de forma bimestral a la Comisión de Asesoramiento Técnico mencionada en el artículo 10 de la presente, para su conocimiento y evaluación.”

Decreto Ley N° 9111/78 Disposición final de RSU CABA y Partidos de la Provincia de Buenos Aires. Organización de la CEAMSE. Ver comentario en descripción de normas de la Provincia de Buenos Aires.

Ley N° 2807 Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos RAEE reglamentada por Decreto 705/2011 El objeto de la ley ha sido establecer medidas para la gestión sustentable de aparatos electrónicos en desuso en el ámbito del Poder Ejecutivo de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires exclusivamente.

La ley, a modo enunciativo, contiene un listado de los aparatos electrónicos en desuso a reciclar (entre los cuales se encuentran impresoras, teléfonos, monitores, videocámaras, grandes computadoras, etc.), sin perjuicio de lo cual, la autoridad de aplicación queda facultada a ampliar dicha lista.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Los objetivos de la norma son: promover el reuso social de los aparatos en desuso; concientizar acerca del uso racional de los recursos tecnológicos; contribuir al estrechamiento de la brecha digital; proteger al medio ambiente; y; fomentar el adecuado reciclado y la correcta disposición final de los aparatos electrónicos.

Por el Decreto N° 705/2011, Se define a los RAEE como la corriente de residuos sólidos urbanos con características particulares de peligrosidad, nocividad o toxicidad, por lo cual la autoridad de aplicación de la ley, es la Agencia de Protección Ambiental (APRA), quien debe (i) publicar anualmente cifras y estadísticas sobre la recuperación y reutilización resultantes de la aplicación de la ley, y (ii) realizar tareas de capacitación y difusión acerca del uso racional y correcta gestión de los aparatos electrónicos en las dependencias del Poder Ejecutivo.

Ley N° 5991/2018. Gestión Ambiental de Pilas en Desuso, considerándolas como Residuos Sólidos Urbanos Sujetos a Manejo Especial, en concordancia con la Ley N° 1854 - (Texto consolidado por Ley N° 5666) de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y sus normas complementarias.

Ley N° 5997/2018 Se incorpora al inciso b) "De los tipos de uso" del párrafo 1.2.1.1 "Relativos al Uso" del Capítulo 1.2 "Definición de Términos Técnicos" del Código de Planeamiento Urbano de la Ciudad de Buenos Aires, la siguiente definición:

Centro de separación de RSU Secos Semi-Automatizado: Se considera Centro de separación de RSU Secos Semi-Automatizado a aquel edificio e instalación que posea una línea automática o semiautomática completa para la recepción, separación y preparación de residuos sólidos urbanos secos provenientes de la recolección diferenciada, para su posterior utilización en el mercado secundario como insumo para nuevos procesos productivos.

Resolución N° 417/APRA/14 Esta Resolución aprueba el Instructivo de corrientes admisibles en los Puntos Verdes de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, programa creado por la resolución N° 167/APRA/14.

El objeto del instructivo es brindar un procedimiento para la entrega y recepción de los residuos reciclables y / o sujetos a manejo especial que los vecinos de la Ciudad de Buenos Aires disponen en los Puntos Verdes.

Resolución 727/MAYEGC/14. Residuos Sólidos urbanos Ministerio de Ambiente y Espacio Público. Se aprueba como anexo I de la misma el "Régimen Operativo para el Generador Especial", en el marco de lo normado por la Ley N° 1.854 de Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos, que tiene por objeto establecer el conjunto de pautas, principios, obligaciones y responsabilidades para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos que se generen en el ámbito territorial de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, en forma sanitaria y ambientalmente adecuadas, a fin de proteger el ambiente, seres vivos y bienes.

Disposición N° 153/DGLIM/14 Residuos Sólidos Urbanos Ministerio de Ambiente y Espacio Público. Establece dentro del Subregistro de Transportistas del "Registro de Operadores de Residuos Sólidos Urbanos", la categoría denominada COOPERATIVAS DE TRABAJO PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO PUBLICO

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN  
UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

DE HIGIENE URBANA EN ZONAS VULNERABLES, y aprueba su régimen de inscripción y exclusión de la misma categoría. Asimismo, aprueba el formulario de adhesión al régimen de notificación electrónica, en carácter de declaración jurada.

Resolución N° 1444/MAYEPGC/14. Residuos Sólidos urbanos Ministerio de Ambiente y Espacio Público. Debe considerarse la separación en origen como una meta interina a efectos de alcanzar la separación inicial selectiva de residuos sólidos urbanos.

Se establece, para todos los generadores, tanto individuales como especiales, la obligación de separar en origen los residuos sólidos urbanos. Y se aprueba el "Régimen Operativo para la Separación en Origen" que forma parte del anexo de la misma.

Decreto GCABA 128/14 Se modifica como anexo del mismo la reglamentación de la Ley N° 1.854 de Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos, ya que resulta menester encomendar la función de determinar cómo se evaluará la correcta separación a la Autoridad de Aplicación. Además, se establecen las herramientas que fueren necesarias para concientizar al ciudadano y brindar instrumentos que favorezcan el cambio de hábito tanto en el consumo como en el manejo de los residuos a los fines de cumplir con los objetivos establecidos en la citada normativa.

Se redefinen así, algunos conceptos incluidos en el anexo II del Decreto N° 639/07, reglamentario de la Ley N° 1.854, en base a la nueva concepción de fracciones de residuos que hacen a la capacidad de reciclado que ostentan como materiales en sí mismos.

DI-2018-363-DGLIM: Aprueba la fórmula elaborada por OHUCABA con el objeto de calcular los residuos generados por todo establecimiento que preste servicios gastronómicos y/o donde se elaboren, fraccionen y/o expendan bebidas y/o alimentos (Art. 13 Ley 1854 incluye a "Todo establecimiento que preste servicios gastronómicos o en donde se elaboren, fraccionen y/o expendan bebidas y/o alimentos (...)").

#### B. Programas

RESOLUCIÓN N° 240/APRA/14 Se crea el Programa de Gestión Integral de Bienes Voluminosos en Desuso (BVD), que estará a cargo de la Unidad de Coordinación General de Gestión Ambiental.

La norma entiende como "BVD" a los siguientes residuos: muebles, sanitarios, elementos de construcción, aberturas, aparatos eléctricos y electrónicos, entre otros.

Los ciudadanos pueden adherirse voluntariamente comunicándose con el GCBA para el retiro de los residuos en sus domicilios.

Si los BVD son dispuestos por domicilios particulares, el vecino deberá comunicarse con el servicio de Atención Ciudadana del GCBA ya sea de manera telefónica al 147, a través de su Website, o de otros medios habilitados a tal fin.

En el caso de aquellos BVD generados en comercios, oficinas, servicios, instituciones e industrias que puedan ser asimilables a los producidos en domicilios particulares, el

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

titular o representante deberá completar el formulario que a tales efectos se disponga en la página web del GCBA, o en otros canales habilitados a tal fin.

El objeto del Programa consiste en establecer un mecanismo que facilite una gestión diferenciada de los Bienes Voluminosos en Desuso (BVD), que sean generados en domicilios particulares o bien en comercios, oficinas, servicios o industrias, y que puedan asimilarse a los generados en los domicilios particulares, priorizando siempre que sea posible su recuperación, extensión de su vida útil y valorización.

Ley N° 6378/21: LEGISLATURA DE CABA Crea en el ámbito de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires el Sistema de Compensación Ecológico (SI.CO.ECO) que tiene por objeto concientizar sobre la importancia del reciclado, favorecer la separación en origen, reducir la cantidad de residuos sólidos urbanos, promover la economía circular y aminorar su impacto en el ambiente y la salud.

### **Normativa provincia de Catamarca**

#### **A. Normas generales**

Ley N° 5002/00 y modificatoria. Régimen de Residuos Sólidos de origen domiciliario, industrial, sanitario y comercial. La ley determina para el ámbito provincial el régimen que regirá el tratamiento de los desechos y residuos sólidos o semi sólidos, ya sean éstos de origen domiciliario, industrial, sanitario y comercial.

La autoridad de aplicación es la Secretaría de Estado del Ambiente. Los objetivos son: (i) Promover un manejo racional de los residuos domiciliarios en el ámbito de la Provincia. (ii) Desarrollar en la población una conciencia ecológica respecto a los problemas ambientales que genera un mal manejo de los residuos, y sus posibles soluciones. (iii) Promover la reducción del volumen y cantidad total de los residuos domiciliarios, valorizando las distintas formas de reciclaje de los mismos. (iv) Implementar los procesos necesarios para disminuir los efectos negativos de residuos a la salubridad del ambiente, dando a conocer los procesos y tecnologías adecuadas a tal fin.

La elección de un determinado procedimiento para el tratamiento y destino final de los residuos y desechos urbanos, como así también la determinación de los sitios propuestos para la disposición final de los residuos que adopten los Municipios o Comunas, requerirá la presentación de un estudio de impacto ambiental que deberá ser elaborado por la autoridad de aplicación, previa presentación de un proyecto por parte del Municipio, Comuna, o agrupación de estos unidos a tal fin.

Se adhiere al código armonizado de colores que aprobó la nación, estableciendo que la Dirección de Coordinación de Residuos Sólidos Urbanos Municipal será la encargada de implementar el Código armonizado de colores en las diferentes instancias de gestión de los Residuos Sólidos Urbanos

La Ley N° 5.681 Crea la Agencia de Residuos Sólidos Urbanos de Catamarca en el ámbito del Ministerio de Agua, Energía y Medio Ambiente o el que lo reemplazase en el futuro.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Establece un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) y la administración de los mismos para todo el territorio de la provincia de Catamarca que garantice las condiciones mínimas igualitarias ambientales a todos los habitantes. Determina responsabilidades jurisdiccionales del gobierno provincial y de los municipios de toda la Provincia, siendo complementaria de la Ley Nacional N° 25.916 conforme lo previsto en el párrafo tercero del Artículo 41 de la Constitución Nacional. Sus disposiciones son de orden público y en su propio texto establece que se utilizarán para la interpretación y aplicación de la legislación específica sobre la materia que se dicte a nivel provincial y municipal.

Por esta norma, la gestión integral de los residuos sólidos urbanos, debe regirse por el principio de reducción progresiva de la disposición final, con plazos y metas concretas, por medio de la adopción de un conjunto de medidas orientadas a la reducción en la generación de residuos, la separación selectiva, la recuperación y el reciclado.

Se impulsa la gestión integral y la administración de residuos sólidos urbanos entendiéndose por ello al conjunto de actividades interdependientes y complementarias entre sí, que conforman un proceso de acciones para la administración de un sistema que comprende, generación, disposición inicial selectiva, recolección diferenciada, transporte, tratamiento y transferencia, manejo y aprovechamiento; todo lo que tienen como finalidad la reducción progresiva de la disposición final de residuos sólidos urbanos, a través de la separación selectiva, recuperación y reciclado.

Se promueve entre otros objetivos la separación de residuos en origen, el compostaje y biodigestión de residuos orgánicos; la toma de medidas tendientes al reemplazo gradual de envases descartables por retornables, la separación de los embalajes y envases para ser recolectados por separado a cuenta y cargo de las empresas que los utiliza, la promoción de la elaboración de productos o utilización de envases que, por sus características de diseño, fabricación, comercialización, utilización, minimicen la generación de residuos y faciliten su reutilización, reciclado, valorización, o bien permitan la eliminación menos perjudicial para la salud humana y el ambiente.

DECRETO N° 218/2023 Suplanta a la Agencia de Residuos Sólidos Urbanos de Catamarca creada por Ley N° 5.681, por la Agencia de Residuos Sólidos Urbanos de Catamarca (A.R.S.U.C.) creada en el ámbito del Ministerio de Agua, Energía y Medio Ambiente o el organismo ambiental que lo reemplazase en el futuro. La agencia tiene autarquía financiera y administrativa y estará integrada por tres (3) miembros designados por el Poder Ejecutivo de la Provincia, un (1) presidente y dos (2) Vocales. El presidente tendrá rango de secretario ministerial y los vocales rango de directores provinciales".

Cada municipio debe presentar a la Autoridad de Aplicación un programa estratégico de Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) para que sea analizado y, en su caso, aprobado por la Agencia de Residuos Sólidos Urbanos de Catamarca (A.R.S.U.C.).

El programa citado, debe contener:

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

- 1) Pautas para alcanzar un paulatino incremento de recuperación de los materiales presentes en los residuos, tales como plásticos, papeles, cartones, textiles, tetra brik, vidrios, metales - ferrosos y no ferrosos, pilas, baterías de celulares, celulares y todos aquellos que sean aprovechables para su industrialización.
- 2) Implementación de campañas de sensibilización para la separación en origen, organización de la recolección diferenciada.
- 3) Canon que deberá ser abonado por los grandes generadores.
- 4) Todas las acciones que posibiliten la eco eficiencia en las plantas de clasificación.
- 5) Prohibición de arrojo de residuos en lugares clandestinos o en la vía pública.
- 6) Medidas tendientes a mejorar las condiciones de vida y salud de la población".

D. Normas específicas que regulan los residuos plásticos

La ley N° 5.309. Aprueba un Programa de sustitución de bolsas, envases y/o contenedores biodegradables, creando un registro de infractores. La Autoridad de Aplicación, debió implementar un programa de sustitución y reemplazo de bolsas, envases y contenedores de plásticos o de material no biodegradable, que consiste en:

- a) Fijar un plazo de treinta y seis (36) meses, contados a partir de la fecha de promulgación de la ley, para el reemplazo o sustitución definitiva, en todos los comercios pudiendo graduar los cambios.
- b) Realizar campañas de difusión y concientización sobre el uso racional del material no biodegradable, para el envase y contención de los productos comercializados en dichos establecimientos.
- c) Informar y capacitar a los destinatarios de esta ley, sobre las alternativas existentes en sustitución de todos estos elementos no biodegradables.

Resulta importante señalar que algunos Municipios como el de Fray Mamerto Esquiú en su Carta Orgánica se estableció que el Municipio ejerce su competencia en forma concurrente con la Provincia y la Nación en lo referido entre otros temas a todas las cuestiones vinculadas con la protección del ambiente, el equilibrio ecológico, polución ambiental y el patrimonio natural, histórico y cultural, prohibiendo la quema de residuos sólidos, orgánicos e inorgánicos y sustancias combustibles.

Por su parte, en la Municipalidad de San Fernando del Valle de Catamarca por la ORDENANZA N° 934 /CDMR/07, que establece la " necesidad de regular la utilización y uso de bolsas de material biodegradable", prohibiendo el uso de bolsas de material no biodegradable para contener las mercaderías, materiales o productos expedidos por supermercados, almacenes, comercios y/o industrias en general en todo el ámbito de la jurisdicción municipal de Recreo.

Así, se establece la obligación de reemplazar toda bolsa utilizada para contener las mercaderías, materiales o productos expendidos por supermercados, almacenes, comercios y/o industrias en general, por bolsas de material biodegradable.

**Normativa Provincia de Corrientes**

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

### A. Normas generales.

Ley N° 6.422. Gestión de residuos sólidos urbanos RSU- GIRSU- La Provincia incorpora el principio de reducción progresiva en la generación y/o producción de basura, a través del enfoque hacia la Economía Circular haciendo énfasis en el principio de que "los residuos no son basura, son recursos para gestionar". La norma insta a la reducción en la generación de residuos, la separación selectiva, la recuperación y el reciclado.

Cada municipalidad establecerá un cronograma de reducción progresiva de la cantidad de residuos que se destinen a disposición, basados en un enfoque regional y de planeamiento estratégico, con establecimiento de prioridades, metas, y la implementación de mecanismos que garanticen su costo-efectividad y sostenibilidad en el tiempo.

La norma define Residuos Sólidos Urbanos o "RSU" a aquellos elementos, objetos o sustancias que, como subproducto de los procesos de consumo domiciliario y del desarrollo de las actividades humanas, son desechados. Para los sujetos alcanzados por la norma se establece la obligación de poseer un plan de gestión de residuos basado en principios de economía circular.

Ley N° 6169 Por esta norma se implementa una campaña masiva de recolección de papeles, diarios y sus derivados en desuso de todas las dependencias estatales para su posterior reciclaje. Impulsa a la autoridad de aplicación a realizar campañas de concientización.

Ley N° 5901/09. Prohíbe el desmalezamiento por medio del fuego y la instalación de depósitos a cielo abierto de residuos sólidos, urbanos, industriales u otra naturaleza.

Ley N° 5566/04. Adhiere a la Ley Nacional N° 25612 de Presupuestos Mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicios.

### **Normativa Provincia de Córdoba**

#### A. Normas generales.

Ley N° 9088 MOD. POR Ley N° 9.696 La Ley de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos Asimilables a los RSU, aplica a la generación, transporte, tratamiento, eliminación y disposición transitoria o final de residuos sólidos domiciliarios. Regula la recolección, transporte y disposición final de los residuos sólidos urbanos, desde su generación.

- Establece condiciones mínimas de tratamiento de estos residuos.
- Abarca: "... la generación, transporte, tratamiento, eliminación y disposición transitoria o final de residuos sólidos domiciliarios, derivados de la poda, escombros, desperdicios de origen animal, enseres domésticos y vehículos en desuso y todo otro residuo de características similares producidos en las actividades urbanas..."

El Decreto Provincial N° 462/2023, como herramienta de gestión económica crea un 'FONDO DE FINANCIAMIENTO AMBIENTAL', en la órbita del Ministerio de Gobierno

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

y Seguridad, que tendrá por objeto coadyuvar a los municipios, comunas, comunidades regionales, entes u organismos intermunicipales, cooperativas y entidades, cuyo objeto esté vinculado a la gestión de residuos y/o al cuidado del ambiente, para la inversión en los siguientes rubros: a) infraestructura para gestión integral de residuos: ampliación de módulos de disposición final, construcción de centros ambientales de transferencia o tratamiento y reacondicionamiento de su infraestructura; b) equipamiento y logística para gestión integral de residuos; c) cicatrización de basurales a cielo abierto; todo ello, en el marco del Plan Provincial para la Gestión Integral de Residuos.

La Resolución Provincial N° 175/2023 del Ministerio de Ambiente, Biocombustibles y Energías Renovables de Córdoba, por su parte crea el programa especial de gestión para los residuos no peligrosos, incluyendo a los siguientes:

Residuos orgánicos de origen agropecuario;

Residuos orgánicos de origen industrial;

Residuos orgánicos domiciliarios;

Aceites vegetales usados y grasas;

Neumáticos de desecho;

Membranas asfálticas;

Residuos de poda;

Residuos de vidrio;

Residuos de madera;

Residuos de papel;

Residuos de plástico;

Residuos de cartón;

Envases tetra pack;

Textiles y fibras;

Cueros;

Escombros y materiales de construcción;

Voluminosos;

Chatarra;

Digestato de biodigestor;

Cadáveres animales;

La norma define que serán considerados Generadores a los efectos de este programa, todas las personas humanas o jurídicas responsables de un establecimiento en cuyo proceso, operación, actividad, manipulación o servicio se genere, de forma continua o

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

discontinua, alguno/s de los residuos no peligrosos listados anteriormente. Y serán considerados Operadores a los efectos de este programa todas las personas humanas o jurídicas que realicen alguna actividad que implique la reutilización y/o valorización de residuos contemplados en este programa como parte de nuevos circuitos productivos incluyendo entre las actividades posibles la generación de bioenergía y/o valorización energética.

Aquel Operador que cumpla con las condiciones de la presente, estará habilitado para emitir el “Certificado de Disposición Final”.

El Certificado de Disposición Final será generado por el Operador a través de la plataforma digital. A los fines de poder emitir el “Certificado de Disposición Final”, el Operador deberá cumplir con las siguientes condiciones:

- Contar con la aprobación del instrumento de gestión ambiental que corresponda, salvo que la actividad no esté comprendida en las disposiciones de la Ley de Política Ambiental Provincial N° 10.208.
- Inscribirse en el “Registro de Operadores y Generadores” que a tal efecto lleve la Secretaría de Ambiente como autoridad de aplicación.

### B. Planes y/o Programas

Resolución Provincial N° 38/2023 de la SECRETARÍA DE AMBIENTE DE CÓRDOBA Ratifica el Plan Provincial de Gestión de Residuos, el cual se describe en el anexo I que forma parte de la resolución, como así también se incluyen las acciones planificadas para el año 2023.

### D. Normas específicas que regulan los residuos plásticos.

La Ley N° 9.696 Prohíbe el uso de bolsas de polietileno y todo otro material plástico convencional utilizadas y entregadas por supermercados, autoservicios, almacenes y comercios en general para transporte de productos o mercaderías

ORDENANZA N° 12648 de la Ciudad de Córdoba, Establece el Marco Regulatorio para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos de la Ciudad de Córdoba con el objeto de fijar las prescripciones, modalidades y condiciones que deben cumplir los generadores, transportistas y operadores de residuos sólidos urbanos, para: a) Cumplir con los objetivos y metas de una gestión integral de los residuos sólidos urbanos que se generen en la Ciudad de Córdoba b) Alcanzar la protección ambiental en la gestión integral de los residuos sólidos urbanos, sean éstos de origen residencial, comercial, asistencial, de servicios, sanitario, industrial o institucional, con excepción de aquellos que se encuentren regulados por normas específicas.

La ordenanza encomienda a la autoridad de aplicación a garantizar la prestación del Servicio Público de Higiene Urbana bajo condiciones de seguridad, regularidad, continuidad, generalidad, accesibilidad y mantenimiento para los usuarios.

## **Normativa de la Provincia de Chaco**

### A. Normas Generales.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Ley N° 850J (N° 4209) - Código de faltas de la provincia del chaco Establece las acciones que son consideradas faltas provinciales entre las que se encuentran el arrojamiento de residuos a la vía pública y su gestión no conforme a norma.

LEY N° 4.302 PROTECCION DEL AMBIENTE Los objetivos de la presente son promover la protección de la salud, el ambiente y conservar materiales de valor, el suelo, el agua y recursos energéticos, mediante la mínima generación de residuos.

Ley N° 2174-R (antes 7.345) y Ley N° 3511 Gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (Ley N° 7.345) Protección de suelo, agua y recursos energéticos.

Por Ley N° 3511 del 2 de marzo de 2022 se aprobó el Programa de Reutilización y Reciclado de Aparatos Electrónicos y Eléctricos, en el ámbito del Sector Público Provincial, que incluye disposiciones sobre la gestión y tratamiento de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), a efectos de unificar procedimientos.

Los municipios que se adhieran a la presente normativa, deberán presentar ante la autoridad de aplicación su plan local de gestión de RAEE que permita realizar acciones de concientización y reaprovechamiento de estos residuos.

Ley N°. 7034 modificada por Ley N° 7963. Reglamentada por DECRETO N° 2.417/2012 Establece los procedimientos de gestión integral de los residuos sólidos urbanos, así como los mecanismos para la implementación de una política que coordine las acciones del Estado provincial y los Estados municipales en la Provincia del Chaco, en el marco normado por la Ley Nacional N° 25.916 de presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de residuos domiciliarios.

Los predios destinados, a la disposición final de residuos sólidos urbanos, así como los centros de separación de clasificación y reciclado, deberán localizarse en sitios que cuenten con la conformidad de la autoridad provincial y municipal, debiendo los mismos someterse a evaluación de impacto ambiental y audiencias públicas de acuerdo con lo previsto en la Ley N° 3964, decreto N° 1726/07 y normas complementarias.

Queda prohibida la disposición en los rellenos sanitarios de cualquier residuo que sea catalogado como peligroso, de acuerdo con la Ley N° 3946 y su decreto reglamentario N° 548/05 y normas complementarias.

El predio donde se efectúe la disposición final o transitoria de los residuos sólidos urbanos, deberá situarse a más de tres mil (3.000) metros de aeródromos o pistas de aterrizaje de aviones y a una distancia superior a más de 13 km. de aeropuertos internacionales, siempre y cuando no exista autorización expresa de la Administración Nacional de la Aviación Civil u organismo que lo reemplace en el futuro.

Adicionalmente, el predio deberá contar con un espacio perimetral interno que actúe como control de propagación horizontal de fuego.

El diseño del centro de disposición final deberá responder a las pautas y especificaciones que establezca la autoridad de aplicación por medio de la reglamentación de la presente ley. La autoridad de aplicación podrá exigir la

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

disposición final de los residuos sólidos asimilables a urbanos en celdas diferenciadas.”

### **Normativa de la provincia de Chubut**

#### **A. Normas Generales**

Ley N° 3739/92. Prohíbe el ingreso al territorio provincial de residuos tóxicos, y no biodegradables.

Ley XI N° 56 – Aprueba el programa de reciclado de RAEE

Decreto N° 149/15 – Separación de RSU en edificios públicos provinciales Los generadores especiales deberán realizar la separación en origen los residuos que generan en al menos dos fracciones:

- a) SECOS (papel blanco, diarios, cartón, plásticos, etc.) que deberán estar limpios; y
- b) HÚMEDOS (restos de comida, servilletas sucias, etc.).

Sin perjuicio de ello, cada Generador Especial, podrá comenzar con la separación de alguna de las corrientes de los residuos secos y luego incorporar el resto progresivamente.

Los generadores especiales deberán garantizar la correcta disposición de los residuos. Para ello, proveerán o dispondrán dentro de sus establecimientos de la cantidad necesaria de recipientes, los que deberán estar claramente identificados a fin de evitar la mezcla de las corrientes de residuos.

Los generadores especiales, a través del referente ambiental, designado al efecto, deberán presentar el Plan de Separación de Residuos, de conformidad con lo dispuesto en el Anexo A. La aprobación del Plan de Separación tendrá una vigencia de DOS (2) años, contados a partir de la fecha en la que se expidió esta Autoridad de Aplicación

Resolución N° 26/2021 Aprueba el registro provincial de neumáticos fuera de uso

#### **B. Normas específicas que regulan el los residuos plásticos.**

Ley XI N° 31 – Prohibición del uso de bolsas de polietileno, Sólo permitiendo las bolsas biodegradables como en todas las jurisdicciones donde se encuentra regulado.

Decreto N° 679/2010 Crea el registro de empresas proveedoras de bolsas degradables y biodegradables

Resolución N° 48/2012. Regula la gestión de envases vacíos de agroquímicos y fomenta el reciclado.

#### **ORDENANZAS DE Puerto Madryn**

Ordenanza N° 8562/2013 Establece la obligación de separación de RSU por parte de generadores. Para ello se desarrolló una clara y específica campaña de difusión y publicidad, tendiente a lograr la educación, concientización y el hábito en la población,

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

sobre la clasificación y separación de los residuos sólidos urbanos en origen, previa al vertido de los mismos y su retiro por el transporte de recolección.

Ordenanza N° 8313/12 – Tasa por tratamiento y disposición final de RSU

Ordenanza N° 6452/07 – Estatuto del Consorcio Público Intermunicipal GIRSU

### **Normativa de la Provincia de Entre Ríos**

#### **A. Normas generales**

Ley N° 10311 y Ley N° 10859. Llamada ley de GIRSU. Esta norma resulta conteste con lo establecido en la Ley de presupuestos Mínimos, crea obligaciones para la provincia y los Municipios. Por su parte, los residuos que se generan dentro de establecimientos públicos se gestionan conforme Ley N° 10859 y complementa la 10311.

El ámbito de aplicación de esta ley, es el sector público provincial, integrado por la Administración Central, Organismos Descentralizados, Autárquicos y Autónomos, la Honorable Legislatura de la Provincia, y los organismos dependientes de la misma; y todas las dependencias donde funcione o que pertenezcan al Poder Judicial. Quedan igualmente comprendidas las sociedades del Estado provincial, y las sociedades con participación estatal mayoritaria

Decreto provincial N° 1246/2020: GOBIERNO DE ENTRE RÍOS Aprueba la reglamentación de la Ley Provincial N° 10.311 de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Los generadores deben disponer inicialmente los residuos húmedos y secos en forma diferenciada, sin perjuicio de la implementación de criterios de diferenciación más exigentes.

Como punto importante, también se puede mencionar, que establece los constituyentes de los residuos y las sanciones a ser aplicadas por las infracciones a la normativa y/o por la afección al ambiente.

Resolución SA N° 133/09. Crea el Registro De Gestión Integral De Residuos Sólidos Urbanos, a cargo de la secretaria de Ambiente de la Provincia, en el que deben inscribirse los expedientes y planes de gestión de los municipios a cargo de la gestión de RSU

Resolución N° 92/2021 Los envases de fitosanitarios tipo A son considerados peligrosos igual que los tipos B, y deben ser tratados como tales.

Resolución Provincial N° 2925/2021: SECRETARÍA DE AMBIENTE DE ENTRE RÍOS Adhiere a la Resolución N° 446/2020 del MAyDS de la Nación sobre código armonizado de colores para la identificación, clasificación y segregación de residuos domiciliario (verde-reciclables secos, negro- basuras, marrón -compostables, amarillo-plásticos, azul-papel y cartón, blanco -vidrios, y gris-metales) conforme a los fundamentos expuestos en los Considerandos de la presente norma legal.

### **Normativa de la Provincia de Formosa**

#### **A. Normas generales**

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN  
UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Ley N° 1060/93. Título IV, Cap. I: Disposiciones generales para la gestión de los residuos sólidos. Se establece como obligación poseer un plan de gestión de residuos.

Ley N°5491 – Gestión de Residuos Sólidos Urbanos, adhiriendo a la normativa nacional

### Normativa de la Provincia de Jujuy

#### A. Normas generales

Ley N°5954, decreto PEP N° 8038/2018 Reglamenta la gestión de residuos sólidos urbanos GIRSU o asimilables a urbanos.

Por el Decreto N° 9734. Se reglamenta el Servicio de Operación y Mantenimiento del Relleno Sanitario del Centro Ambiental Jujuy para el Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos.

Por las normas antes mencionadas se establece la obligación de enviar a tratar los residuos no industriales conforme a norma, y siempre teniendo en cuenta el principio de economía circular.

Resolución N° 84/2021 Secretaría de Calidad Ambiental del Ministerio de Ambiente Crea el Registro Único Provincial de Recuperadores y Recicladores, de conformidad con las disposiciones de la Ley N° 5063 " GENERAL DE MEDIO AMBIENTE", y con lo establecido por el Artículo 7 Inc. 12 de la Ley N° 5954/16 (modificada por Ley N° 6048/17) "LEY PROVINCIAL DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS - CREACIÓN DEL PLAN PACHAMAMA TE CUIDO - INSTITUCIONALIDAD DEL PLAN - EMPRESA GIRSU JUJUY S.E."

Se deben enviar los residuos no peligrosos, industriales a reciclar a través de recicladores urbanos debidamente registrados

#### B. Programas y Planes.

Decreto N° 11147/2019: GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE JUJUY Crea el "Programa Provincial de Gestión Integral de Neumáticos Fuera de Uso", en el ámbito del Ministerio de Ambiente, que actuará como Autoridad de Aplicación.

El "Programa Provincial de Gestión Integral de Neumáticos Fuera de Uso" tiene por objeto promover un sistema integrado de manejo sustentable de los neumáticos fuera de uso, el reciclado y toda forma de valorización del neumático en desecho, y fomentar el cuidado del medio ambiente, quedando excluidos los neumáticos utilizados en maquinarias de megaminería. Los neumáticos fuera de uso son considerados Residuos Especiales Universales de Generación Universal (REGU).

#### C. Normas específicas que regulan el tema residuos plásticos

Ley N° 6283 – Estrategia ambiental para la reducción progresiva y prohibición específica de los plásticos de un solo uso en el territorio de la provincia. Tiene por objeto la creación de la "Estrategia ambiental para la reducción progresiva y prohibición específica de plásticos de un solo uso en todo el ámbito de la Provincia de Jujuy", el cual instaura un mecanismo de sustitución progresiva y prohibición gradual

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

específica de los “plásticos de un sólo uso” con la finalidad de salvaguardar la calidad del ambiente, contribuir a mejorar las condiciones de salud de la población actual y de las futuras generaciones.

La norma considera” plástico de un solo uso” al producto desarrollado a partir de material plástico destinado a ser empleado una sola vez y ser desechados tras su primer uso; ser no reutilizables y con baja reciclabilidad por cuestiones técnicas y/o económicas. -

Los objetivos específicos de la norma son:

- a) Prohibir progresivamente la utilización de plásticos de un solo uso y promover procesos de sustitución por alternativas reutilizables, compostables o biodegradables;
- b) Promover la transición hacia hábitos de consumo más responsables con el objetivo de disminuir los productos descartables de un solo uso y en particular los de materiales plásticos;
- c) Concientizar sobre el impacto ambiental de ciertos productos plásticos con destino sanitario a través de reglas de etiquetado;
- d) Promover el cuidado de los cursos de aguas y de las áreas protegidas, promoviendo la reducción de la contaminación por plásticos, microplásticos y por filtros o colillas de cigarrillos;
- e) Contribuir a disminuir la presión de los plásticos de un solo uso en los sitios de disposición final, contribuyendo así a mejorar los procesos de gestión integral de los residuos sólidos urbanos;
- f) Estimular la transformación y readecuación de los procesos de producción de los plásticos de un solo uso, su reemplazo por el uso de materiales compostables, biodegradables y reciclables, particularmente los “desarrollados por emprendedores locales; promoviendo principios de responsabilidad contemplados en la Ley N° 25.675 y la Ley N° 5.063.
- g) Impulsar cambios en las dependencias del Estado con el fin de promover la adecuación de los hábitos de consumo, a lo dispuesto por esta norma;
- h) Implementar acciones coordinadas entre las jurisdicciones nacional, provincial y municipal, a fin de impulsar, controlar y sancionar conductas que transgredan disposiciones de la presente ley.

Define también a:

- a) Bioplástico: biopolímero con propiedades plásticas.
- b) Biopolímero: polímero producido a partir de recursos renovables mediante procesos biológicos.
- c) Biodegradación: degradación causada por la actividad biológica mediada por acción enzimática. -

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

d) Biodegradación aerobia: biodegradación en presencia de oxígeno, causando un cambio en la estructura química del material; produciendo principalmente dióxido de carbono, agua y biomasa. -

e) Biodegradación anaerobia: biodegradación en ausencia de oxígeno o en un ambiente con baja disponibilidad de oxígeno, causando un cambio en la estructura química del material, produciendo principalmente biomasa, biogás, agua y metabolitos intermedios.

f) Compostable: material orgánico con propiedades que permiten su compostaje.

g) Compostaje: proceso de biodegradación aeróbica cuyo resultado es generar compost, dióxido de carbono, agua y calor suficiente para asegurar la eliminación de organismos patógenos. -

h) Compost: producto estable, maduro, de color marrón oscuro o negro caliza, sin olores desagradables proveniente del compostaje, también denominado abono orgánico. -

i) Desintegración: alteración física de un material en fragmentos de menor tamaño que el original. -

j) Microperlas y microesferas de plástico: son partículas sólidas de plástico de menos de cinco (5) milímetros de diámetro, que no son solubles en agua, y cuya degradabilidad es baja. -

k) Plásticos: materiales sintéticos que están hechos de polímeros derivados del petróleo o de base biológica y que, bajo ciertas circunstancias, se pueden moldear.

l) Plásticos biodegradables: son aquellos en los que el material se descompone en los elementos químicos que lo integran por la acción de agentes biológicos como plantas, animales, bacterias y hongos, y que convierten al material en sustancias naturales como agua, dióxido de carbono y biomasa sin aditivos artificiales.

La Autoridad de Aplicación determinará la tasa de descomposición y el período de tiempo necesario para que ello ocurra, exigidos para ser incluido en esta categoría. Los valores establecidos no podrán estar por debajo de los que exijan las normas internacionales en la materia.

m) Plásticos compostables: son aquellos que se biodegradan en un plazo máximo de seis (6) meses, que se desintegran durante el tratamiento biológico en doce (12) semanas como máximo y del que se obtiene un compost de calidad.

Si el material o el producto plástico está formado por sustancias o productos químicos compostables y no compostables, no se considera en esta categoría.

n) Polímero: macromolécula de alta masa molecular caracterizada por la repetición de uno o más tipos de monómeros.

o) Productos plásticos de un solo uso: son productos desarrollados a partir de materiales plásticos destinados a ser empleados una sola vez y a ser desechados tras

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN  
UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

su primer uso; no son reutilizables y su reciclabilidad es baja por cuestiones técnicas y/o económicas. Se los denomina también productos plásticos descartables.

Son de interés público las acciones destinadas a promover la sustitución de plásticos de un solo uso y la transición hacia hábitos de consumo más responsables con el ambiente en todo el territorio de la Provincia de Jujuy.

Se prohíbe el ofrecimiento a la vista, entrega al consumidor final, distribución y uso en la actividad comercial de carácter privado o público en el territorio de la Provincia de Jujuy, de los siguientes productos plásticos de un sólo uso:

a) Vajillas y utensilios plásticos descartables, comprendiendo vasos y sus accesorios, platos, tazas y sus accesorios, cubiertos, bandejas, recipientes alimentarios con sus accesorios incluidos los plásticos de cobertura, sorbetes, agitadores de bebidas y palillos o escarbadientes de plástico;

b) Varillas de plástico destinadas a ser adheridas o utilizadas como soporte de objetos descartables como globos y los soportes de plástico utilizados para el consumo de helados tipo "palito".

c) Hisopos y cotonetes realizados con plástico no compostable;

d) Bolsas plásticas no reutilizables, entendidas como bolsas de polietileno u otro material plástico convencional, no compostables, livianas, con un espesor menor a cincuenta (50) micrones, tipo camiseta y tipo recta conocidas también como de arranque, destinadas a contener o transportar productos y bienes, que sean suministradas bajo cualquier título, gratuito u oneroso, en cualquier punto de venta o entrega, de tipo mayorista o minorista.

e) Envoltorios de plástico a ser utilizados para el transporte o entrega de diarios, revistas, facturas, recibos y otros objetos similares. -

Establece plazos progresivos de prohibición. A partir de la entrada en vigencia de la presente ley, rige la prohibición de:

a) Ofrecimiento a la vista del cliente o consumidor.

b) Entrega al consumidor final a título gratuito u oneroso de productos no biodegradables.

El plan de acción para el cumplimiento de esta norma no superará los cinco (5) años desde la formulación de la política. -

La Autoridad de Aplicación, en coordinación con los entes de control provincial de las Áreas Naturales que integran el Sistema Provincial de Áreas Naturales Protegidas y las zonas de la Quebrada de Humahuaca declarada Patrimonio Cultural y Natural de la Humanidad, deberá reglamentar la materia de modo inmediato a partir de la entrada en vigencia de esta ley, en miras a prohibir el ofrecimiento a la vista, entrega al consumidor final, distribución y comercialización y restringir el ingreso de plásticos de un solo uso

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

La Autoridad de Aplicación y el órgano de Aplicación Local Competente, podrán incluir nuevas zonas de protección, con especial atención a las ubicadas en áreas costeras a los cursos de agua como ríos, lagos, lagunas y aquellos que por las características de su ecosistema así lo ameriten.

Productos de reparto y entrega. Los alimentos y bebidas que sean adquiridos para ser consumidos fuera de los establecimientos gastronómicos o bien que sean trasladados al lugar donde se encuentre el consumidor (delivery), no podrán ser transportados en productos plásticos de un sólo uso, a menos que sean de materiales compostables o se trate de contenedores reutilizables.

Los que comercialicen alimentos y bebidas con la modalidad prevista en el artículo anterior, podrán incluir recipientes contenedores retornables y/o aplicar descuentos y bonificaciones para los consumidores que lleven sus propios recipientes contenedores para el transporte.

Responsabilidad civil. Los establecimientos gastronómicos que expendan sus productos en recipientes contenedores llevados por los consumidores, no son responsables civilmente por los daños y perjuicios que pudieren ocasionarse como consecuencia del uso de éstos, salvo que se probare que el daño es consecuencia de acciones u omisiones anteriores a la colocación de los alimentos o bebidas en los contenedores.

Desplastificación en las dependencias del Estado, entidades autárquicas y descentralizadas. Las dependencias del Estado Provincial, entidades autárquicas y descentralizadas deberán adoptar las acciones necesarias para cumplir las disposiciones de la presente ley, con sujeción a lo siguiente:

- a) En contrataciones de servicios alimentarios se especificará la prohibición de plásticos de un solo uso.
- b) En espacios destinados a la alimentación, los alimentos no podrán ser entregados en recipientes descartables de ningún tipo, cuando fueren a ser consumidos dentro del lugar.
- c) En licitaciones o contrataciones en curso, o bien con productos estoqueados, tendrán tres (3) años desde la entrada en vigencia de la ley para readaptar los procesos y disponer el cese definitivo de la utilización de plásticos de un solo uso, o su reemplazo por productos reutilizables o realizados con materiales compostables. Vencido dicho plazo, quedará prohibida la adquisición, entrega, suministro, distribución, comercialización, producción, importación y exportación de plásticos de un solo uso.

La Autoridad de Aplicación, podrá determinar, fundadamente, las excepciones que considere necesarias.

Las sanciones al incumplimiento de ésta ley, y de las reglamentaciones que en su consecuencia se dicten, sin perjuicio de las demás responsabilidades que pudieran corresponder, serán: a) apercibimiento. sólo aplicable al primer incumplimiento, b) cese de las actividades de infracción, c) multa pecuniaria, entre diez (10) a cinco mil (5.000) unidades fijas. cada unidad fija equivale a un (1) salario mínimo, vital y móvil,

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

d) decomiso del material prohibido, e) pérdida o suspensión de beneficios estatales obtenidos, f) inhabilitación para ejercer el comercio de seis (6) meses a tres (3) años, g) clausura del establecimiento.

Las sanciones contempladas en el presente Artículo se aplicarán con forme criterio de progresividad, teniendo en cuenta la gravedad de los hechos, beneficio económico obtenido, conducta del infractor y capacidad económica.

La Autoridad de Aplicación Provincial en coordinación con las Autoridades Locales Competentes y organismos pertinentes, deberá implementar medidas de incentivos con el objeto de favorecer y acompañar el proceso de sustitución y fabricación de plásticos de un solo uso, y su reemplazo por otras alternativas que conlleven un menor impacto ambiental tanto en su proceso de producción como en el de su descarte final.

Es de interés provincial la promoción del uso de bolsas a base de tejido vegetal o animal que puedan descomponerse mediante la acción de agentes biológicos y que permitan su reincorporación natural al suelo, como así también la promoción de bolsas de biopolímeros.

### **Normativa Provincia de la Rioja**

#### A. Normas generales

Ley Provincial N° 10390/2021: LEGISLATURA DE LA RIOJA, Ratifica el Acta de Adhesión al Programa de Casa Común y de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos préstamo BID 3249/OC-AR de fecha 16 de noviembre de 2020 suscripta entre el Gobierno de la provincia de La Rioja.

Ley N° 6.215 Residuos Industriales asimilables RSU . Esta norma aprueba el régimen de gestión aplicable a los residuos de origen domiciliario, vial, comercial, industria, asimilables a Residuos Sólidos Urbanos. Para ello se determina en la norma:

- Autoridad de Aplicación
- Métodos de Disposición Final
- Proyecto de Disposición Final de Residuos. Informe.

#### B. Programas y Planes

Mediante la Ley N° 9.373, se crea el Programa de Reciclado de Residuos de Aparatos Electrónicos y Eléctricos, con el objetivo de minimizar la generación de residuos, promover la reutilización y reciclado de sus componentes y materiales, involucrar a los generadores a la responsabilidad y minimizar los impactos negativos que pueden producir en el ambiente

#### D. Normas específicas que regulan los residuos plásticos.

La Ley N° 8.277 Prohíbe el uso de bolsas de material no biodegradable para contener las mercaderías, materiales o productos expedidos por hipermercados, supermercados, almacenes, comercios y/o industrias en general en todo el territorio de la Provincia de La Rioja.

### **Normativa de la Provincia de Mendoza.**

#### A. Normas generales

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Ley N° 5970. Regula la gestión de residuos sólidos urbanos e industriales comunes. Cada vez que transportan este tipo de residuos para su tratamiento se libra un manifiesto legal o remito que es el instrumento legal más importante para demostrar la gestión integral de los residuos.

Resolución provincial N° 302/2020 Deroga a partir del 2 de enero de 2021 la Resolución N° 217-I-2005 Se encuentran comprendidos por esta resolución todos los envases vacíos de fitosanitarios, fertilizantes y domisanitarios utilizados en el territorio provincial, los que deberán ingresar al Sistema de Gestión Integral de Envases Vacíos que implemente la autoridad competente de acuerdo a los lineamientos que se establecen en el siguiente articulado.

El usuario garantizará la realización, por cuenta propia o por aplicadores, del procedimiento de reducción de residuos de envases vacíos de fitosanitarios, fertilizante y de los domisanitarios conforme a lo establecido en la norma IRAM 12069 o la norma que oportunamente la reemplace.

Debe efectuarse el almacenamiento temporal de los envases vacíos de fitosanitarios, fertilizantes y domisanitarios por cuenta propia o por parte de sus aplicadores en lugares apropiados y de modo que no afecte al ambiente y la salud, disponiendo de hasta 150 días corridos de plazo para su devolución a partir de la fecha de compra. Cumplido el plazo, y de continuar con envases sin utilizar su contenido, deberá informar a las 72hs. de la existencia de los mismos a la autoridad competente.

La entrega obligatoria y traslado de todos los envases vacíos con triple lavado a los Centro de Acopio Transitorio que determine la autoridad competente.

De no realizar la técnica del triple lavado o reducción de residuos, por la presencia de restos sólidos y/o líquidos deberá afrontar el costo para su tratamiento según se determine en la Ley Impositiva del año en curso.

El incumplimiento de lo establecido en la presente resolución hará pasible al infractor de las sanciones establecidas en la Ley Provincial de Agroquímicos N° 5665, su Decreto Reglamentario N° 1469/93 y en ley impositiva del año en curso, independientemente de las previstas por la Secretaría de Ambiente y Ordenamiento Territorial u organismo que la reemplace.

Ordenanza N° 6726/2020: MUNICIPALIDAD DE MAIPU-MENDOZA (02/10/2020) Crea el Programa de manejo de Gestión Integral de los RAEE de la Municipalidad de Maipú proveniente de los domicilios particulares de cada vecino y la institución municipal

### **Normativa de la Provincia de Misiones**

#### **A. Normas generales**

Ley XVI - N° 133 01/10/2020 29/10/2020. Implementa el Sistema Provincial de Prácticas y Procesos de Reducción, Reciclado y Reutilización de Residuos de Aparatos Eléctricos, Electrónicos y Neumáticos Fuera de Uso. La norma institucionalizó el día 17 de mayo de cada año como el Día Provincial del Reciclaje.

La obligación de poseer un Plan Ambiental de Eliminación de Residuos Urbanos y Patológicos en Misiones, se encuentra establecida por Decreto N° 171/03 y Ley XVI – N° 89.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

La Ley XVI 89 (antes Ley N° 4274) Establece exigencias básicas en base la Ley N° 25.916 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental para la Gestión Integral de Residuos Domiciliarios.

La Ley XVI 93 (Antes Ley N° 4333) Establece una diferenciación de los RSU, cuya disposición se deberá realizar en contenedores y cestos diferenciados, disponibles en todo espacio público, plazas, parques, rutas, instituciones educativas y médico asistenciales.

Ley N° 4.333 – Valoración de residuos sólidos urbanos en todo espacio público; se establece una valoración de residuos sólidos urbanos, en todo espacio público, plazas, parques, rutas, instituciones educativas y médico asistenciales. Para ello se debe contar con contenedores y cestos diferenciados e identificados con el color y la leyenda correspondiente al tipo de residuo sólido urbano.

A los efectos de identificar el tipo de residuo sólido urbano, los contenedores y cestos deben ser de los siguientes colores:

- a) amarillo: metal, latas de gaseosas y cerveza, enlatados, objetos de cobre, aluminio, bronce, plomo hierro;
- b) verde: materia orgánica, restos de comida, cáscaras de frutas y legumbre, hojas;
- c) azul: papel, cartón, periódicos y revistas, cajas de cartón;
- d) marrón: vidrios en general, sean éstos botellas, vasos, lámparas, focos, potes de productos alimenticios, frascos de perfumes, remedios y productos de limpieza;
- e) rojo: plásticos en general, sean éstos botellas y vasos, potes de crema y champo, juguetes, sachet de leche, pañales.

Los contenedores y cestos deben adecuarse a las especificaciones de diseño establecidas en la norma, debiendo poseer estampada la flecha abierta en forma de círculo con el color y la leyenda que identifique al tipo de residuo sólido urbano.

D.- Normas Específicas que regulan el tema residuos plásticos

Ley XVI-129 Prohíbe en todo el territorio provincial, el uso de bolsas de plástico y todo otro material no biodegradable utilizadas y distribuidas en la actividad económica para el transporte de productos o mercaderías de los consumidores.

Ley N° 4.321 – Estableciendo que los comercios de la provincia deben despachar sus productos en bolsas de polietileno identificadas con diseños y colores texto completo: A los fines de promover la valoración de residuos domiciliarios, los comercios de la provincia deben despachar sus productos en bolsas de polietileno identificadas con diseños y colores previstos en la presente ley, independientemente de las leyendas o propagandas del comercio en particular.

A los efectos de identificar el tipo de Residuo Sólido Urbano, el diseño consistirá en un cesto de basura, tal como se indica en el Anexo I de la presente, cuya dimensión no puede ser inferior a un tercio del tamaño de la bolsa. Los colores de las bolsas y contenedores se detallan a continuación: a) amarillo: metal, latas de gaseosas y cerveza, enlatados, objetos de cobre, aluminio, bronce, plomo, hierro; b) verde: materia orgánica, restos de comida, cáscara de frutas y legumbres, hojas; c) azul:

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

papel, cartón, periódicos y revistas, cajas de cartón; d) marrón: vidrio, botellas y vasos de vidrio, lámparas, focos, potes de productos alimenticios, frascos de perfumes, remedios y productos de limpieza; e) rojo: plástico, botellas y vasos de plástico, potes de crema y champo, juguetes, sachet de leche, pañales.

Los comercios deben exhibir en su ingreso, la tabla de colores y tipo de Residuo Sólido Urbano al que corresponde.

### Normativa de la Provincia de Neuquén

#### A. Normas generales

Ley N° 2648. El objeto de la ley es establecer el conjunto de principios y obligaciones básicas para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos que se generen en el ámbito territorial de la Provincia del Neuquén, todo de conformidad con las disposiciones establecidas en la Ley nacional N° 25.916, de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental para la Gestión Integral de Residuos Domiciliarios, con el fin último de proteger el ambiente y la calidad de vida de la población.

Constituyen objetivos de la política ambiental en materia de residuos sólidos urbanos:

- a) efectivizar la gestión sustentable de los residuos sólidos urbanos por parte de todos los municipios y comisiones de fomento de la provincia del Neuquén, promoviendo los principios de prevención y precaución ambiental;
- b) promover un adecuado y racional manejo de los residuos sólidos urbanos, a fin de preservar los recursos naturales, resguardar la salud de la población y su calidad de vida;
- c) diseñar e instrumentar programas en los distintos niveles educativos formales y no formales sobre las buenas prácticas ambientales en la temática de residuos sólidos urbanos;
- d) desarrollar una progresiva toma de conciencia por parte de la población en general, respecto al manejo adecuado de los residuos sólidos urbanos, a fin de impedir la proliferación de basurales clandestinos;
- e) erradicar los basurales a cielo abierto y todo tipo de tratamiento inadecuado de los residuos sólidos urbanos dentro del territorio provincial, a efectos de minimizar los impactos negativos que estas prácticas producen sobre el ambiente;
- f) incorporar tecnologías y procesos ambientales aptos y adecuados a la realidad local y regional.

La gestión integral de residuos sólidos urbanos comprende las siguientes etapas:

- a) Generación: actividad que comprende la producción de desperdicios o deshechos en su fuente.
- b) Disposición inicial: acción por la cual el generador deposita o abandona los residuos para su retiro por el servicio de recolección. La misma puede ser: 1) General: sin clasificación y separación de residuos, o 2) Selectiva: con clasificación y separación de residuos.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

- c) Recolección: conjunto de acciones que comprenden el acopio y carga de los residuos sólidos urbanos en los vehículos recolectores. Puede ejecutarse de dos formas: 1) General: sin discriminar los distintos tipos de residuos. 2) Diferencial: realizando una selección de tipos de residuos, ya sea por su peligrosidad o por su posible aprovechamiento.
- d) Transporte: comprende los viajes de traslado de los residuos entre los diferentes sitios comprendidos en la gestión integral.
- e) Transferencia: comprende las actividades de almacenamiento transitorio y/o acondicionamiento de residuos para su transporte hacia las plantas de tratamiento y/o sitio de disposición final.
- f) Tratamiento: conjunto de aplicaciones tecnológicas sobre los residuos sólidos urbanos para el acondicionamiento de los mismos tendientes a su valorización comercial.
- g) Disposición final: operaciones que se ejecutan para el depósito definitivo de los residuos sólidos urbanos, sin tratamiento o proveniente de las fracciones de rechazo resultantes de los tratamientos adoptados. Asimismo, quedan comprendidos en esta etapa las actividades propias de la clausura y post clausura de los centros de disposición final actuales y/o futuros.
- h) "Valorización" de los residuos sólidos urbanos a todo procedimiento que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos mediante su transformación física, química, mecánica y/o biológica que haga posible su reciclaje y/o reutilización.

Son atribuciones de las autoridades competentes en cada jurisdicción: a) Establecer el Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos adaptados a las características y particularidades de su jurisdicción. b) Establecer normas complementarias necesarias para el cumplimiento efectivo de esta ley.

- c) Suscribir convenios bilaterales, multilaterales y/o interjurisdiccionales, a efectos del efectivo cumplimiento de los objetos de la presente ley. d) Promover la valorización de residuos mediante programas de reciclaje o reutilización de residuos.

El incumplimiento de las disposiciones de la presente ley, o de las reglamentaciones que en su consecuencia se dicten, sin perjuicio de las sanciones civiles o penales que pudieran corresponder, será de aplicación a los municipios que hayan adherido a la presente Ley y/o persona física o jurídica que tenga a su cargo la prestación de este servicio por delegación de éstos, con las siguientes sanciones: a) Apercibimiento. b) Multas de entre diez (10) y hasta doscientos (200) sueldos de la categoría máxima del escalafón de la Administración Pública provincial. c) Suspensión de las actividades desde treinta (30) días hasta un (1) año, según corresponda y atendiendo a las circunstancias del caso. d) Clausura preventiva de las instalaciones, según corresponda y atendiendo a las circunstancias del caso. e) Cese definitivo de las actividades y clausura de las instalaciones, según corresponda y atendiendo a las circunstancias del caso.

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Resolución N° 748/2018 Secretaría de Desarrollo Territorial y Ambiente, Subsecretaría de Ambiente. Aprueba el Programa Provincial de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEEs), y la articulación para la recolección de los RAEEs por diferentes localidades que cuentan con adhesión al programa.

El programa tiene como objetivo la recolección de los RAEEs de los municipios para su posterior tratamiento, evitando que se terminen disponiendo junto a los residuos sólidos urbanos, fomentando su desensamble en condiciones de seguridad para la recuperación de elementos valiosos, y la gestión apropiada de aquellos que sean contaminantes.

Los RAEEs se acopian en bolsones tipo big bags que son donados por empresas que los descartan, propiciando así la reutilización de los mismos.

### D. Normas específicas que regulan el tema de residuos plásticos

Resolución N° 609/2018 de la Subsecretaría de Ambiente Aprueba el «Programa Provincial de Puntos Limpios para Plásticos» por el que los Municipios y Comisiones de Fomento que se encuentren adheridos a la ley provincial N° 2648, tienen a disposición el convenio para firmar con la Subsecretaría de Ambiente, en el cual quedarán establecidas las funciones, obligaciones y responsabilidades de cada parte.

La autoridad de aplicación provincial hace entrega de materiales (bolsones, contenedores y cartelería específica), realiza asistencia técnica y articula con la empresa recicladora; y los municipios/comisiones de fomento se encargan de la instalar los puntos limpios para recolectar el plástico y acopiarlo; asimismo la empresa recicladora recibe los plásticos y entrega vales para cambiarlos por materiales reciclados (bancos de plaza, mesas, cestos, entre otras). El objetivo de este procedimiento es disminuir la cantidad de plásticos que van al sitio de disposición final.

Con el programa se promueve la recuperación de residuos con valor comercial a partir de la instalación de puntos limpios, y se tiende a lograr el cambio de conducta en la población asociada al adecuado manejo de los residuos. De esta forma se articulan acciones entre provincia, municipio, comunidad y empresas para fomentar la separación en origen del plástico de forma regional.

La norma también fomenta el desarrollo de industrias del reciclado de residuos revalorizados promoviendo la economía circular.

Los puntos limpios son instalaciones fijas en Municipios y Comisiones de Fomento, estratégicas y controladas que facilitan a las comunidades disponer sus residuos plásticos, en diferentes contenedores específicos. Reciclar conlleva ahorrar materias primas, energía, agua y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero persiguiendo los principios de mitigación del cambio climático y aportan a la economía circular.

### **Normativa de la Provincia de Río Negro**

#### A. Normas generales

Ley N° 5491. La ley establece los objetivos y procedimientos de protección ambiental aplicables a la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) en la Provincia

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

de Río Negro, de conformidad con lo establecido en el artículo 41 de la Constitución Nacional, artículos 84 y 85 de la Constitución de la Provincia de Río Negro y de la Ley de Presupuestos Mínimos de Gestión de Residuos Domiciliarios N° 25916, con el fin último de proteger el ambiente y la calidad de vida de la población.

Quedan excluidos del objeto de la presente los residuos regulados por las leyes provinciales M N° 2472 (Residuos Peligrosos), M N° 3250 (Residuos Especiales), Q N° 4495 (Residuos de Pescado) y R N° 2599 (Residuos Patogénicos), u otras normas vigentes o las normas que en el ámbito de la Provincia de Río Negro en el futuro las reemplacen.

Los objetivos de la política ambiental en materia de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos:

- a. Efectivizar la gestión sustentable de los residuos sólidos urbanos por parte de todos los municipios y comisiones de fomento de la Provincia del Río Negro, promoviendo los principios de prevención y precaución, sustentabilidad y equidad intergeneracional, de congruencia y regionalización.
- b. Promover un adecuado y racional manejo de los residuos sólidos urbanos, a fin de preservar los recursos naturales, resguardar la salud de la población y su calidad de vida.
- c. Promover la cooperación y coordinación entre los distintos actores y la congruencia entre las distintas actividades comprendidas en la gestión sustentable de residuos sólidos urbanos.
- d. Promover el desarrollo de políticas de regionalización y otras actividades de carácter interjurisdiccional con el fin de posibilitar la implementación de estrategias regionales para alguna o la totalidad de las etapas de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos.
- e. Promover la valorización de los residuos domiciliarios, a través de la implementación de métodos y procesos adecuados.
- f. Diseñar e instrumentar programas en los distintos niveles educativos formales y no formales sobre las buenas prácticas ambientales en la temática de residuos sólidos urbanos.
- g. Minimización progresiva de la generación, reducción del volumen y cantidad de residuos por habitante, a través de metas progresivas de cumplimiento obligatorio.
- h. Erradicar los basurales a cielo abierto y todo tipo de tratamiento inadecuado de los residuos sólidos urbanos dentro del territorio provincial, a efectos de minimizar los impactos negativos que estas prácticas producen sobre el ambiente.
- i. Incorporar tecnologías y procesos ambientales aptos y adecuados a la realidad local y regional. j. Formalización e inclusión de recuperadores y el aprovechamiento de residuos sólidos.

Para adherir al Plan Provincial GIRSU provincial, las autoridades municipales deberán elaborar y presentar en los plazos y condiciones establecidos en esta ley y su

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

reglamentación, el “Plan GRSU Municipal” elaborado de manera coherente con el contenido del Plan Provincial y complementario de sus disposiciones y objetivos.

Este Plan GRSU Municipal es evaluado y aprobado por la autoridad de aplicación y, a partir de ese momento se incorpora al Plan Provincial GRSU y se torna de cumplimiento obligatorio por las autoridades responsables.

Las autoridades, propician y apoyan la suscripción de acuerdos intermunicipales y/o regionales de los que podrá o no formar parte la provincia, para la realización conjunta de una o más etapas de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos.

En cumplimiento de las disposiciones de las leyes nacionales N° 25675 y 25916, la autoridad provincial deberá presentar el “Plan Provincial GRSU”, que deberá contener las metas y objetivos previstos para asegurar la Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos dentro del marco de protección ambiental y social adecuado.

La adhesión municipal a la ley, la presentación del Plan Municipal y posterior aprobación por la autoridad de aplicación provincial, son requisitos indispensables para que los municipios participen en programas de apoyo, financiación, incentivos, y aportes que puedan ser provistos por la provincia, organismos nacionales e internacionales o terceros para promover y facilitar su aplicación.

Dentro del Plan Municipal se contemplará que, una vez transcurridos los dos años previstos para la implementación, se prohíbe en todo el ámbito provincial la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos que no cumpla con las condiciones establecidas en los respectivos planes.

Los Planes Municipales de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos deben tener como objetivo principal la erradicación de los basurales a cielo abierto y la prohibición futura de la utilización de predios para tal fin, como así también la disposición de los residuos en sitios no autorizados.

Las autoridades municipales quedan obligadas a clausurar los basurales que se encuentren en sus territorios en el plazo de tres (3) años, independientemente de la presentación del Plan Municipal. Asimismo, deberán establecer un programa de remediación y recuperación de los predios utilizados como basurales a cielo abierto. En caso de incumplimiento de la remediación, la autoridad de aplicación podrá realizar las fases del tratamiento previstas en el Plan Municipal de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos aprobado por cuenta y cargo del respectivo municipio, y bajo las condiciones que se establezcan en la reglamentación de la presente.

Cada municipio o consorcio de municipios, según corresponda, deberá crear un Registro de Grandes Generadores de Residuos de tipo domiciliario y clasificarlos según el tipo y la cantidad de residuos sólidos urbanos, a fin de elaborar programas, parámetros de control y normas específicas.

La disposición inicial de los residuos sólidos urbanos deberá efectuarse mediante métodos adecuados a la realidad de cada jurisdicción para lograr minimizar los riesgos ambientales de exposición de los residuos a cielo abierto y garantizar el correcto funcionamiento de la recolección.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Los responsables de la gestión deben garantizar la recolección y el transporte de los residuos sólidos urbanos hacia las estaciones de transferencia, plantas de tratamiento y/o sitios de disposición final, mediante métodos adecuados a las características ambientales y geográficas de su jurisdicción y acorde al tipo de generación de residuos, sea ésta individual o especial.

Las Estaciones de Transferencia son aquellas instalaciones habilitadas por la autoridad de aplicación de la presente ley, en las cuales los residuos sólidos urbanos son almacenados transitoriamente y/o acondicionados para su transporte a las plantas de tratamiento y/o sitio de disposición final. El establecimiento de Estaciones de Transferencia debe estar avalado por un estudio de impacto ambiental, de acuerdo a lo establecido en la ley N° 3266.

Las Plantas de Tratamiento son aquellas instalaciones en las cuales los residuos sólidos urbanos reciben un proceso de transformación física, química, mecánica y/o biológica con el fin de producir su valorización comercial, dando lugar al reciclaje y/o reutilización de los mismos. Los residuos con valorización comercial ingresan al circuito de comercialización a cargo de los responsables de la gestión. El material de rechazo de estos procesos y todo residuo sólido urbano que no haya sido valorizado debe ser transportado al Sitio de Disposición Final habilitado por la autoridad competente.

El establecimiento de la Planta de Tratamiento debe estar avalado por un estudio de impacto ambiental, de acuerdo a lo establecido en la Ley N° 3266. Queda expresamente prohibida su ubicación en áreas naturales protegidas.

En caso de regionalización de jurisdicciones, la ubicación de la Planta de Tratamiento debe tener en cuenta los caminos y rutas de interconexión entre las mismas, a efectos de racionalizar los costos de la etapa de recolección y transporte de los residuos sólidos urbanos

Los Sitios de Disposición Final son aquellos especialmente seleccionados a través de estudios geomorfológicos, hidrogeológicos, topográficos, planimétricos y demás estudios relacionados, y acondicionados, para efectuar la disposición permanente de los residuos. Los mismos deben ser avalados por un estudio de impacto ambiental, de acuerdo a lo establecido en la Ley M N° 3266, que contemple la ejecución de un plan de monitoreo de las principales variables ambientales durante la fase de operación, clausura y post clausura, a efectos de que los sitios de disposición final estén ubicados en lugares ambientalmente aptos y fuera de áreas naturales protegidas.

Los Centros de Disposición Final no podrán estar ubicados en áreas urbanas, o próximas a ellas, ni en áreas destinadas a futuras expansiones urbanas y su emplazamiento debe determinarse considerando la planificación territorial, urbana-ambiental, existente en cada jurisdicción. En caso que se contemple la regionalización de jurisdicciones, la ubicación del Sitio de Disposición Final debe tener en cuenta los caminos y rutas de interconexión entre las mismas, a los efectos de racionalizar los costos de la gestión. La metodología a implementar en la disposición final de los residuos sólidos urbanos debe propender a la preservación de los recursos naturales

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

impidiendo la contaminación de aguas subterráneas y/o superficiales y de la atmósfera.

Se prohíbe la quema clandestina de residuos sólidos urbanos. La autoridad de aplicación provincial será la responsable de evaluar las prácticas de eliminación de residuos sólidos urbanos por el método de incineración controlada, en cualquiera de sus formas, sea o no con recuperación de energía.

Los municipios deberán incluir en los Planes GIRSU a los recuperadores informales asegurando su calidad de vida y condiciones dignas y salubres de labor. Los mismos deberán contemplar como mínimo planes de inclusión laboral, desarrollo y sensibilización comunitaria, el fortalecimiento institucional de los equipos en las jurisdicciones locales, y el aprovechamiento de los residuos sólidos principalmente mediante la separación en origen y reciclado.

El Estado provincial y los municipios deberán auspiciar la capacitación y la generación de cooperativas de recuperadores u otros modos de empleo formal.

Los municipios deberán enviar anualmente a la autoridad de aplicación provincial información estadística sobre la gestión de residuos sólidos urbanos, conforme establezca la reglamentación. La información obtenida será pública y deberá ser difundida de forma libre, garantizando el acceso a la población.

El incumplimiento de las disposiciones de la presente ley o de las reglamentaciones que en su consecuencia se dicten, sin perjuicio de las sanciones civiles y/o penales que pudieran corresponder, dará origen a sumarios administrativos garantizando el derecho de defensa.

D.- Normas específicas que regulan el tema de residuos plásticos

Ley N° 4417. Instituye el Programa Provincial de Reducción y Sustitución Progresiva de las bolsas de polietileno, polipropileno u otra clase de material no biodegradable que proveen los supermercados, almacenes, tiendas, kioscos y cualquier otro tipo de comercio para la contención y transporte de las mercaderías que expenden a sus clientes. La referida categorización de bolsas plásticas no biodegradables, incluye también la progresiva sustitución de las denominadas bolsas para residuos domiciliarios.

El objetivo del Programa es lograr la disminución paulatina del uso de las bolsas no biodegradables, hasta su total reemplazo por otras hechas de materiales biodegradables que no afecten el medio ambiente y, en consecuencia, la calidad de vida de la población y los recursos naturales de la provincia.

Los objetivos del Programa:

- a) sensibilización, concientización y educación de la sociedad en su conjunto, sobre la necesidad de la racionalización del uso de bolsas de material no biodegradable.
- b) Impulso de políticas públicas que promuevan el desarrollo de la provisión de envases de materiales biodegradables, sustitutos de las bolsas actualmente en uso,

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

de forma de que la eliminación total de las mismas no acarree un impacto sobre el empleo.

La autoridad de aplicación establecerá por vía reglamentaria, dentro de un plazo que no supere los cuatro (4) años posteriores a la sanción de esta ley (comienza a regir en el año 2013), la fecha a partir de la cual queda prohibido dentro del territorio de la Provincia de Río Negro, el uso de bolsas de polietileno, polipropileno u otra clase de material no biodegradable, con destino al embalaje de mercaderías expedidas por los comercios, como así también el de las denominadas bolsas de residuos domiciliarios. Asimismo, por idéntica vía fijará las acciones a instrumentar para el cumplimiento de los objetivos de la presente.

Quedan exceptuados de los alcances de esta ley las bolsas o elementos de embalaje de alimentos o insumos húmedos, naturales, elaborados o preelaborados, los que podrán ser comercializados utilizando como continente o envases materiales no biodegradables, sin ningún tipo de inscripción impresa en los mismos. Para su denominación o identificación sólo se podrán utilizar rótulos de papel.

La norma invita a los municipios de la provincia a adherir a la presente, a través de la implementación de programas locales en complementación y coordinación con el que se instituye por esta ley. Y los gastos que demande la implementación de esta ley deben ser incluidos en la asignación presupuestaria de cada año.

### **Normativa de la Provincia de Salta**

#### **A. Normas generales**

Ley N° 7.070 “Protección del Medio Ambiente” y Decreto Reglamentario 3097/00. Declara de orden público la protección del ambiente natural y cultural.

Establece el deber de proteger el ambiente.

Los proyectos de obras y actividades comprendidos en la reglamentación que dicte la autoridad de aplicación deben cumplir con el procedimiento de evaluación de impacto ambiental y social (EIAS).

El Certificado de Aptitud Ambiental (CAA) es condición necesaria para la habilitación. Hay actividades controladas y actividades prohibidas.

Establece normas de protección de las aguas; de los humedales; de la flora y la fauna; de la atmósfera; de los suelos; de los paisajes y de la biodiversidad.

Regula el tratamiento de residuos en general.

Los generadores, transportistas y operadores de residuos peligrosos deben inscribirse en los registros que habilite la autoridad de aplicación y documentar sus operaciones con un manifiesto. También deben cumplir con las condiciones que establezca la reglamentación que dicte el poder ejecutivo provincial.

Establece un régimen de fiscalización, infracciones y sanciones.

En el título IV, capítulo IV, se prohíbe la emisión atmosférica de sustancias tóxicas, radiaciones u otras formas de energías que produzcan daños a las personas o

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

ecosistemas. Además de implementar sistemas de control para eliminar o reducir a niveles aceptables la emisión de gases, polvos, humos, hollín, malos olores o ruidos considerados molestos para la población o dañinos al ecosistema.

B.- Programas y Planes

El decreto N° 1365/10. Aprueba el Plan Provincial de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos.

En el año 2021, la Municipalidad de Salta estableció la base hacia la economía circular en la ciudad con una política de separación de residuos en origen bajo el esquema de las 3R:

- Reducir, crear menos residuos de los que generamos
- Reutilizar, Cuando algo ya no nos sirve, darle un nuevo uso en vez de descartarlo; y
- Reciclar, convertir un residuo en un producto nuevo y diferente.

El programa Salta Separa tiene como objetivo primordial la reducción de los residuos enviados a disposición final en el relleno municipal.

**Normativa de la Provincia de San Juan.**

A. Normas generales

Ley N° 8238/11. Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y residuos asimilables a RSU. Adhesión a la Ley Nacional N° 25916. Por la Resolución SSMA N° 267/07, se crea el Registro de Grandes Generadores de RSU.

Ley N° 1800/2018. Crea el Observatorio Ambiental en el ámbito de la Secretaría de Estado de Ambiente y Desarrollo Sustentable, de la Provincia de San Juan o el organismo que en el futuro lo reemplace. El mismo estará integrado por: el Centro de Monitoreo Ambiental, la Agencia de Cambio Climático y el Observatorio de Residuos Sólidos Urbanos.

Resolución N° 267/07. Secretaría de Estado de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Aprueba los requisitos y procedimiento para la inscripción como Gran Generador de R.S.U

Formulario de Registro de Actividades por duplicado y en soporte óptico.

Constancia de inscripción en el Registro Público de Comercio o en el Registro que corresponda.

Nómina de autoridades; fotocopia del DNI debidamente certificada

Constancia de CUIT.

Constancia de Habilitación de la Actividad (Municipal, Provincial o Nacional), todo ello según corresponda

El Departamento Trazabilidad podrá solicitar la información que considere de importancia teniendo en cuenta la actividad que realiza el Gran Generador, a saber:

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Curva de generación de RSU.

Cuadro de registro de salida de contenedores de la planta, indicando: capacidades (kg y/o m<sup>3</sup>) de llenado; tipos de residuos que contienen; N° de OT; Sitio de Disposición final; Empresa Transportista y /u Operadora. -

Detalle de los tipos y composición de los residuos asimilables a industriales propios de la actividad y que no quedan claro en el Registro de Actividades.

- Remitos o certificados de disposición final de los RSU operables.
- Constancia de Inscripción en AFIP de la Empresa.
- Copia del documento que acredite el poder otorgado al Representante Técnico.
- Copia certificada del D.N.I. del Actual Representante Técnico.
- Copia de la Habilitación Profesional del Representante Técnico en cuestión.

Obligación de presentar Plan de Gestión Integral de manejo de RSU, describiendo todos los residuos sólidos no peligrosos que se generan en la producción, las cantidades, el tratamiento, capacitación del personal, estrategia de segregación y/o clasificación, cantidad de contenedores que hay en el sitio, frecuencia de retiro de los contenedores, sitio de disposición final habilitados y controlados por la SEA y DS, y otros detalles que la Empresa considere importantes para destacar.

## B. Programas y Planes

Ley Provincial N° 2129/2020 (09/11/2020): Incorpora incisos a la Ley N.º 1114-L de gestión integral de Residuos Sólidos Urbanos respecto a la consolidación del Programa Estratégico de Gestión Integral de RSU; la contribución mediante la adecuada separación de los residuos en el origen; la minimización de los enterramientos en los rellenos sanitarios; la recolección diferenciada de los residuos reciclables; la recuperación de los residuos reciclables; la erradicación de basurales emergentes en lotes baldíos y sitios crónicos de arrojamiento de residuos.

## Normativa de la Provincia de San Luis

### A. Normas generales

Ley IX-0881-2014. Gestión Sustentable de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEES) de la provincia de San Luis. La ley que regula la "gestión sustentable de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEEs) de la Provincia de San Luis".

Se entiende por gestión sustentable a todas las actividades y procesos destinados a reducir, recolectar, transportar, dar tratamiento y disponer de modo final los RAEEs, sin causar daño actual, potencial y/o futuro a la salud humana y/o al medio ambiente.

Se consideran Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEEs): todos los aparatos que para funcionar debidamente necesitan corriente eléctrica o campos electromagnéticos, y los aparatos necesarios para generar, transmitir y medir tales corrientes y campos.

Los RAEEs son residuos especiales, que, si no reciben una adecuada gestión, deben ser considerados peligrosos, ya que contienen en su mayor parte, metales pesados y tóxicos, dañinos para el ambiente y la salud de la sociedad.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

En el ámbito de Aplicación de esta ley, quedan comprendidas todas las actividades y acciones relativas a la gestión y manejo de los RAEEs, incluyendo su tratamiento y disposición final, siendo de cumplimiento obligatorio para toda persona física o jurídica, pública o privada. Cualquiera de ellas que deseche RAEEs se considerará generador.

El generador tiene la obligación de realizar el acopio inicial y la disposición inicial de los RAEEs, de acuerdo a las normas complementarias que establezca la Autoridad de Aplicación.

Para el tratamiento de los RAEEs se establece lo siguiente:

- a) La Autoridad de Aplicación Ambiental (Ministerio de Medio Ambiente) promoverá la reparación, reciclado, revalorización de los RAEEs, permitiendo así minimizar la generación de este tipo de residuos en origen y el acopio de los mismos.
- b) El manejo y disposición final de los RAEEs se realizará a través de un proceso de desensamblar de sus componentes y segregación de sus piezas para una posterior valorización y reciclado de este tipo de residuos.

El incumplimiento de las disposiciones de esta ley, o la incorrecta disposición final de los Residuos, conllevará las sanciones de: apercibimiento; multa desde UNO (1) a CINCUENTA (50) sueldos mínimos de la categoría básica inicial de la Administración Pública Provincial; suspensión de la actividad; o clausura de las instalaciones y cese definitivo de la actividad.

Ley N° IX-0873-2013 La ley, tiene por finalidad establecer un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU), en todo el territorio de la Provincia de San Luis, que garantice las condiciones mínimas igualitarias ambientales a todos los habitantes, determinando las responsabilidades jurisdiccionales del Gobierno provincial y de los Municipios de toda la Provincia.

El Ministerio de Medio Ambiente de la Provincia de San Luis o el organismo que en el futuro lo reemplace, quien promoverá a través del Consejo Provincial de Medio Ambiente (COPROMA), la coordinación y la interrelación de acciones con los municipios quienes deberán ejercer su competencia dentro de sus jurisdicciones territoriales

Es complementaria de la Ley Nacional N° 25.916, conforme lo previsto en el Párrafo Tercero del Artículo N° 41 de la Constitución Nacional. Y sus disposiciones son de orden público y se utilizarán para la interpretación y aplicación de la legislación específica sobre la materia que se dicte a nivel Provincial y Municipal.

En el ámbito de aplicación, y siendo necesaria su reglamentación para su aplicación, se encuentran comprendidos los siguientes Residuos Sólidos:

- a. Domésticos;
- b. Aceites vegetales usados (AVUs);
- c. Comerciales, institucionales y de servicios, no peligrosos;
- d. Limpieza de calles y espacios verdes;
- e. Industriales y rurales no peligrosos;

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

- f. Los residuos no peligrosos, asimilables a urbanos cuya recolección, transporte, almacenamiento y eliminación sea de competencia municipal.

Quedan excluidos los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEEs), neumáticos fuera de uso o de desecho, los residuos peligrosos, patogénicos o patológicos, radiactivos y aquellos denominados especiales

Los Municipios deberán presentar para su aprobación ante la Autoridad de Aplicación un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) aprobado por una norma municipal. El objeto del plan debe ser evitar la contaminación ambiental que contenga pautas mínimas para cada etapa; y establecer prácticas para prevenir el arrojado de residuos en basurales a cielo abierto e impedir el establecimiento de nuevos basurales en sus respectivas jurisdicciones. Dicho Plan será auditado por la máxima Autoridad de Aplicación para de su correcta ejecución.

Decreto N° 545-MMA-2015 Se entenderá por “grandes generadores” a: los supermercados e hipermercados, shoppings y galerías comerciales, hoteles de CUATRO (4) y CINCO (5) estrellas, comercios, industrias, empresas de servicios, restaurantes y casas de comida, universidades privadas y toda otra actividad privada comercial e inherente a las actividades autorizadas, que generen más de trescientos (300) kilogramos de residuos al mes.

Los grandes generadores deberán presentar dentro de la auditoría de renovación del Certificado de Aptitud Ambiental conforme Ley Provincial N° IX-0876-2013, un plan de gestión de los residuos alcanzados por esta norma, que contenga los parámetros establecidos a continuación y todos aquellos que, a criterio de la autoridad de aplicación municipal, en cada caso particular, les requiera:

a) Descripción del sistema de reducción gradual, separación en origen, reutilización, disminuyendo el volumen de aquellos residuos destinados a relleno sanitario y toda medida tendiente a minimizar el consumo de recursos naturales, aprovechando aquellos elementos que por su naturaleza puedan servir de insumo para otros procesos.

b) Descripción de la forma en que efectuarán la separación en origen, o clasificación de los residuos a su cargo pudiendo hacerlo como mínimo en dos fracciones: secos y húmedos, disponiéndolos en bolsas de diferentes colores, los que también deberán ser denunciados en el plan anual.

Indicativamente se sugieren bolsas blancas para los secos y los húmedos en bolsas negras o grises.

c) Designación de un responsable quien será el encargado de implementar las prácticas de gestión de los residuos sólidos urbanos y monitorear su cumplimiento.

d) Establecer objetivos determinando porcentajes de reducción, reutilización y reciclado de sus residuos en función de los kilogramos generados.

e) Denuncia de contrato del servicio de recolección de los residuos separados en origen y del sistema de disposición final de los mismos con plantas habilitadas, pudiendo adherirse al sistema municipal vigente en las condiciones que cada municipio determine al efecto.

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Los municipios deberán verificar el cumplimiento de las obligaciones mínimas fijadas por esta norma a los grandes generadores, sin perjuicio de la potestad de la autoridad de aplicación ambiental provincial de verificar el cumplimiento de las mismas en oportunidad de fiscalizar los establecimientos industriales al momento del perfeccionamiento del Certificado de Aptitud Ambiental, cuando los mismos sean entregados por la Provincia.

La autoridad de aplicación provincial, a través de sus órganos dependientes, podrá requerir a los municipios en forma anual, información detallada acerca del grado de implementación de los programas de gestión.

### ALGUNAS NORMAS MUNICIPALES.

ORDENANZA N° 449-EMAH/O/2012-13. Establece la necesidad de establecer un sistema legal que permita al Estado un control eficiente de la gestión de los residuos industriales por parte de sus generadores, acopladores, recicladores y en general de aquellas empresas que comercialicen residuos.

Las personas físicas y/o jurídicas que se dediquen al acopio, reutilización y reciclado de residuos inorgánicos reciclables en el ámbito de la ciudad de Villa Mercedes deberán inscribirse y habilitarse como tales en el Municipio. Las industrias que pretendan comercializar sus residuos inorgánicos reciclables deberán hacerlo con algunas de las empresas y/o personas que se encuentren debidamente habilitadas y registradas en la Municipalidad de Villa Mercedes o por algún otro municipio del país

ORDENANZA N° 1054-IAL/O/2020: MUNICIPALIDAD DE VILLA MERCEDES- SAN LUIS Crea el Registro de Empresas Recolectoras (RER) de grandes volúmenes de material verde, orgánico, inorgánico, chatarras, neumáticos, escombros, materiales electrodomésticos en desuso, y otros residuos sólidos urbanos no retirados por los programas de limpieza de pavimento y limpieza domiciliaria.

ORDENANZA 1165-EMAH/O/2022: MUNICIPALIDAD DE VILLA MERCEDES SAN LUIS Establece en el ámbito de la ciudad de Villa Mercedes, el RÉGIMEN PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS TEXTILES, COMERCIALES Y DOMÉSTICOS GENERADOS.

Implementa en el ámbito de la ciudad de Villa Mercedes, el “RECICLADO Y REUTILIZACIÓN DE ROPA, CALZADO Y TEXTILES”, el que contará con contenedores especialmente diseñados y confeccionados, diferentes de los de residuos urbanos, y ubicados estratégicamente en la ciudad para su recuperación.

Ley Provincial N° 2129/2020: Incorpora incisos a la Ley N.º 1114-L de gestión integral de Residuos Sólidos Urbanos respecto a la consolidación del Programa Estratégico de Gestión Integral de RSU; la contribución mediante la adecuada separación de los residuos en el origen; la minimización de los enterramientos en los rellenos sanitarios; la recolección diferenciada de los residuos reciclables; la recuperación de los residuos reciclables; la erradicación de basurales emergentes en lotes baldíos y sitios crónicos de arrojado de residuos.

### **Normativa de la Provincia de Santa Cruz**

#### A. Normas generales

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Ley N° 2829/05. Por esta ley se regula el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos.

B. Normas específicas que regulan los residuos plásticos.

Disposición N° 343/20: Aprueba un plan de gestión de Residuos Biodegradables de actividades industriales que se encuentren fuera de los ejidos urbanos.

Decreto N° 784/2020 promulga la Ley N° 3689: OBJETO: Esta norma tiene por objeto mitigar los impactos negativos que produce el consumo de bolsas plásticas o de un solo uso sobre el ambiente, promoviendo la reducción de su utilización en la población.

Se PROHIBE en todo el ámbito de la Provincia de Santa Cruz la comercialización, distribución, uso y/o entrega de bolsas plásticas o de un solo uso en centros comerciales mayoristas y/o minoristas, supermercados, mercados, tiendas, entre otros establecimientos comerciales que sean utilizables para transporte de productos o mercaderías”.

Se exceptúa a aquellos casos en que por cuestiones bromatológicas y/o de asepsia la utilización de bolsas plásticas resulte imprescindible para contener alimentos o insumos húmedos pre elaborados o elaborados, y no resulte factible su sustitución. Asimismo, queda exceptuada la utilización de bolsas para residuos”.

La Secretaría de Estado de Ambiente, del Ministerio de Salud y Ambiente, o aquel que en su futuro la reemplace será la Autoridad de Aplicación de la presente ley y tendrá facultades de fiscalización respecto de su cumplimiento. La norma a su vez, invita a todos los municipios de la provincia a adherir a la ley”.

### Normativa de la Provincia de Santa Fe

A. Normas generales

Ley N° 13940 – Aprueba la Gestión Integral y Sustentable de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEEs) de la misma forma que el resto de las jurisdicciones locales antes mencionadas.

Ley N° 13055/2009 modificada por Ley N° 13237 Esta norma regula la gestión de los Residuos Sólidos Urbanos bajo el principio de Basura Cero. Contiene definiciones, determina su Autoridad de Aplicación, y establece la obligación de que las jurisdicciones locales posean un Programa Reducción de la Producción de RSU.

Resolución SMAyDS N° 128/04. Regula el tratamiento y disposición final de Residuos Sólidos Urbanos.

Decreto N° 2151/14 Este decreto establece que todas las personas físicas o jurídicas generadoras de Residuos No Peligrosos Industriales o de Actividades de Servicios, deberán proceder a la gestión de los mismos, a través del Plan de Gestión Ambiental contenido en el Informe Ambiental de Cumplimiento de la empresa, en el marco del Decreto N° 0101/03.

Son Residuos No Peligrosos Industriales o de Actividades de Servicios, aquellos residuos en estado físico sólido, semisólido y, líquido o gaseoso contenidos, generados en actividades, procesos u operaciones industriales o de servicios, que resultan de la utilización, composición, transformación de la materia o energía, los que

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

carecen o se infiere que carecen de valor o de utilidad para el generador, y en su caso, el dueño, y su destino natural deberá ser su eliminación, valorización o utilización en otros procesos, dentro del territorio de la Provincia de Santa Fe, quedando excluidos:

- a. los residuos peligrosos;
- b. los residuos patogénicos;
- c. los residuos radiactivos;
- d. los efluentes líquidos;
- e. las emisiones gaseosas;
- f. todos aquellos residuos regulados por otra legislación específica.

Las generadoras deberán documentarse por medio de un LIBRO DE GESTIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES NO PELIGROSOS O DE ACTIVIDADES DE SERVICIOS. Este libro deberá mantenerse actualizado mensualmente en el cual se considere: origen, características y cantidad de residuos generados; tratamientos a los que se sometan: segregación, minimización, recuperación, reúso, reciclado o cualquier otra operación que respecto de los mismos se realizare; condiciones de infraestructura del almacenamiento transitorio, traslado hacia planta de tratamiento externa o disposición final.

Los generadores de Residuos No Peligrosos Industriales o de Actividades de Servicios, deberán confeccionar el correspondiente manifiesto.

Siempre que las condiciones de orden técnico lo permitan, se dispone como prioritario la reutilización de estos residuos como materia prima o insumo de otro proceso productivo o el reciclado de los mismos.

Poseer libro; manifiestos y certificación de tratamiento y disposición de Residuos Industriales No peligrosos o de Actividades de Servicios.

### **Normativa de la Provincia de Santiago del Estero**

#### **A. Normas generales**

Ley N° 6321/97. Título IV - Capítulo VIII, Esta norma contiene disposiciones sobre la Gestión de los Residuos, y fue reglamentada por el Decreto 1131/02.

Se aprueba el Régimen Integral de Gestión de Residuos por parte de los municipios y comunas. El Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos II (AR-L1342), consiste en inversiones para lograr un adecuado y racional manejo de los residuos mediante su gestión integral, a fin de proteger el ambiente y la calidad de vida de la población, minimizar los impactos negativos que estos residuos puedan producir sobre el ambiente y lograr la minimización de residuos con destino a disposición final.

El Proyecto "Centro Ambiental Santiago del Estero, Estación de Transferencia La Banda y cierre técnico de Basurales a Cielo Abierto" lo ejecuta la máxima autoridad con competencia ambiental de la nación, a través de un préstamo con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y con fondos de contrapartida local.

El marco legal se describe en función de los convenios internacionales, y a las leyes ambientales nacionales, provinciales y municipales relativas a temas socioambientales y de seguridad y salud ocupacional debido que la fuente de financiamiento es del Banco Interamericano de Desarrollo. Por ello, resulta necesario en esta jurisdicción dar

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

cumplimiento a las 10 Normas de Desempeño Ambiental y Social (NDAS) contempladas en el nuevo Marco de Política Ambiental y Social del BID.

En el tema de plásticos, se insta a la separación para su posterior reciclaje y/o aprovechamiento industrial y doméstico. Se establece la necesidad de que la Planta de Separación y Clasificación reciba el material previamente clasificado.

El origen de los residuos plásticos puede ser a través de lo recolectado en campañas de separación en origen domiciliario o institucional, o a través de lo recolectado en Puntos Verdes o jornadas de concientización específicas, como por ejemplo las jornadas de eco canje.

### **Normativa de la Provincia de Tucumán**

#### **A. Normas generales**

Ley N° 7076/00. Regula la gestión de los residuos sólidos urbanos. Disposición final.

Ley N° 7622/05. Regula la generación, manipulación, transporte, transferencia, tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos. Decreto reglamentario 4388/05.

Ley N° 8.177 mod. 7622. Decreto Reglamentario N° 203/2010. Regula la generación, manipulación, transporte, transformación, tratamiento y disposición RSU. regula la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en todo el territorio provincial.

- Prohíbe la disposición de residuos sólidos urbanos en vertederos no controlados y su vuelco en cursos de agua.
- Se establece que la gestión integral de los residuos sólidos urbanos generados es competencia de los Municipios y Comunas Rurales en sus respectivas jurisdicciones, siendo responsables de la prestación del servicio público en todas sus etapas.
- Los Municipios y Comunas Rurales, deberán presentar un Plan de Gestión Integral en el plazo de ciento ochenta (180) días a partir de 22/02/2010 (Decreto Reg. 203/10).
- Incluye como sujeto obligado a los generadores de residuos de origen residencial, urbano, comercial, institucional e industrial que no derivan de los procesos productivos, excluyéndose expresamente los residuos contemplados en la Ley Nacional N° 24.051.
- Define disposición inicial: a. general o b. selectiva: por clasificación y separación según tipo de residuo en función de su tratamiento y valoración posterior. (Clasificación y separación a cargo del generador). Define recolección, dividiéndola en: a. general; b. selectiva: ídem disposición.
- Determina que la separación podrá hacerse en cualquiera de las etapas de la gestión, con preferencia en origen.
- En los casos en que la separación no sea exclusivamente en origen, deberá determinarse una zona para acopio de los residuos sólidos urbanos asimilables a los residuos peligrosos, como ser baterías, pilas, tubos fluorescentes, cubiertas, etc., que hayan sido detectados durante las tareas de separación (Decreto Regl. N° 203/10).
- El Plan de Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos deberá:

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

- a) Prever programas de capacitación comunitaria para la clasificación y separación de los residuos sólidos urbanos en origen.
- b) Determinar los métodos de disposición inicial, definiendo los tipos de residuos, las formas de almacenamiento y las obligaciones del generador hasta su recolección.
- c) Establecer la metodología y frecuencia con que se hará la recolección, la que deberá adecuarse a la cantidad de residuos generados y a las características ambientales y geográficas de la jurisdicción.
- e) Contemplar, en caso de ser técnica y económicamente factible, el tratamiento de los residuos sólidos urbanos en forma previa a su disposición final, en lugares expresamente habilitados a tal fin.
- f) Promover la valorización de residuos mediante la implementación de programas de cumplimiento e instrumentación gradual.
- k) Implementar programas particulares de gestión para los generadores que produzcan residuos sólidos urbanos en calidad, cantidad y condiciones que, a criterio del Municipio o Comuna Rural, justifiquen un tratamiento especial

D. Normas específicas que regulan el tema de residuos plásticos

Ley N° 7248 /2002, Uso Seguro de Fitosanitarios y Reciclaje de Envases Plásticos. Esta norma fue dictada siguiendo los lineamientos de la norma nacional de presupuestos mínimos.

**Normativa de la Provincia de Tierra del Fuego**

A. Normas generales

Decreto N°1333/93 Reglamentario de la Ley Provincial N°55. En la norma general de protección de medio ambiente y su decreto reglamentario se establece, que queda prohibido acumular residuos sólidos, semisólidos, escombros o sustancias, cualquiera sea su naturaleza o lugar en que se depositen, porque constituyen o puedan constituir un peligro de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Así, deja para los municipios la regulación de la gestión de los residuos sólidos urbanos entre los que se encuentran los plásticos.

Por la Resolución 258/2021 de la Secretarí de Ambiente, se creó el Registro de Operadores de Residuos Valorizables, siendo los plásticos considerados residuos de categoría dos (2).

La inscripción de los operadores se renueva anualmente. Los residuos plásticos (como el resto de RSU) se transportan con manifiesto, existiendo también un certificado oficial de tratamiento de residuos valorizado, que prueba que los mismos han sido dispuestos en forma sustentable, siendo por ello que se encuentran obligados a inscribirse como generadores de residuos.

Se menciona s continuación una norma municipal que ha regulado sobre RSU en la Provincia:

Río Grande Recicla. ORDENANZA MUNICIPAL N° 4154 /2020 CREA en el ámbito del Municipio de Río Grande el Programa de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos Urbanos denominado “Río Grande recicla”, cuyo objetivo principal es el desarrollo de

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

acciones a ser ejecutadas por parte del Departamento Ejecutivo Municipal a través de las áreas correspondientes, tendientes a clasificar, reciclar y reutilizar los siguientes materiales: papel y cartón, metales (aluminio y acero), vidrio, plástico, caucho y pallets, todo ello a los efectos de:

- a) Reducir el volumen de residuos depositados en el relleno sanitario.
- b) Mejorar el manejo de residuos sólidos urbanos.
- c) Impulsar la clasificación de residuos de origen domiciliario, comercial, empresarial, y pública.
- d) Mejorar el paisaje urbano de la ciudad.
- e) Propender el cuidado del medio ambiente.

Incorpora en la ejecución del proceso de recolección de residuos sólidos urbanos, la clasificación independiente de: caucho, vidrio, papel y cartón, pallets, plástico y metales (aluminio y acero).

CREA en el ámbito del Municipio de Río Grande la planta de reciclaje municipal de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), a través de la cual, y mediante la adquisición de maquinarias, herramientas y demás elementos y contratación de servicios correspondientes, se procederá al reciclaje de plástico, papel y cartón, vidrio, caucho, metales y pallets. La norma establece que se podrá reutilizar el producido de los materiales objeto de reciclaje, de la siguiente forma:

- a. El papel y cartón deberán ser reutilizados una vez reciclados, como papelería oficial a ser utilizada por las reparticiones públicas municipales.
- b. El caucho deberá ser reutilizado una vez reciclado como materia prima a ser utilizada en tareas de bacheo, pavimentación de calles, pisos de plazas, y césped sintético en estadios deportivos municipales.
- c. Los pallets serán reutilizados una vez reciclados como mobiliario municipal.
- d. El plástico será reutilizado una vez reciclado, para la fabricación de materiales de construcción en general.
- e. Los metales (acero y aluminio) serán reutilizados una vez reciclados como materiales para la construcción en general, siendo facultativa la opción de contratar los servicios para enviar los metales a reciclar a las plantas de reciclajes correspondientes.
- f. El vidrio, se deberá fomentar la reutilización del mismo. En caso de desecho será reutilizado una vez reciclado como vidrio nuevo a ser utilizado serán enviados a plantas recicladoras para su fundición. Será facultativa la opción de contratar los servicios para enviar vidrio a reciclar a las plantas de reciclajes correspondientes.

### **8.6 Normas voluntarias**

#### **Normas IRAM**

En el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) se desarrollan normas técnicas nacionales. De ese modo, las normas IRAM son documentos

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

normalizadores que surgen del trabajo de un grupo de expertos que acuerdan las condiciones mínimas que debe tener un producto, servicio o sistema de gestión. Ellos son los representantes oficiales del país en la Organización Internacional de Normalización (ISO), la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), la Asociación MERCOSUR de Normalización (AMN) y la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT); todos ellos, organismos internacionales y regionales de normalización.

Las normas emitidas por IRAM no son de cumplimiento obligatorio, salvo que una regulación las tome y determine que deben ser cumplidas. En este sentido, algunos actos administrativos que son reglamentos técnicos las toman, especialmente en las normas de higiene y seguridad del trabajo. En materia ambiental, han sido tomadas en menor medida, pudiendo mencionar como ejemplo las normas que regulan en varias jurisdicciones locales la medición de ruidos molestos al vecindario (entre otras la Resolución de la autoridad de aplicación en materia ambiental de la provincia de Bs. As. N° 159/1996).

En materia de gestión de plásticos reciclables y residuos plásticos, tanto a nivel nacional como en algunas jurisdicciones locales, se han tomado en regulaciones internas de cumplimiento obligatorio normas IRAM, especialmente para la gestión de bolsas plásticas. Conforme lo antes mencionado, y la importancia de que las mismas pudieran ser aplicables en todo el país, se mencionan, las siguientes:

IRAM 13610 – Bolsas Plásticas, tipo camiseta para supermercados. La norma para bolsas de supermercados establece los tamaños y espesores de las bolsas, así como los ensayos técnicos que se deben realizarse para asegurar su calidad y óptimo desempeño.

Establece también el peso que cada bolsa puede llevar para asegurar su uso más eficiente y los tamaños de bolsas con sus medidas y espesores: (i) pequeña, (ii) mediana y (iii) grande.

También especifica otros requisitos físicos: resistencia a la carga estática, resistencia a la carga dinámica -propiedades mecánicas de la película de las bolsas-, resistencia a la tracción, elongación a la rotura, resistencia al desgarre, resistencia al punzonado. Estos requisitos y los controles de calidad son los que aseguran la mayor eficiencia de la bolsa normalizada.

IRAM13615 – Bolsas plásticas tipo camiseta reutilizables. Plásticos biodegradables en condiciones de compost

IRAM 29420 – Materiales plásticos biodegradables y/o compostables. Terminología.

IRAM 29421 – Materiales y productos plásticos biodegradables en condiciones de compost. Calidad ambiental. Materiales y productos plásticos biodegradables y compostables. Requisitos para su valoración mediante compostaje.

Esta norma especifica los requisitos y procedimientos para determinar la compostabilidad de los materiales o productos plásticos, señalando tres características:

1. biodegradabilidad, en un plazo máximo de 6 meses;
2. desintegración durante el tratamiento biológico, en un plazo máximo de 12

semanas;

3. calidad del compost obtenido.

IRAM 29422 – Procedimiento de ensayo. Determinación de la biodegradabilidad aeróbica última de los materiales plásticos bajo condiciones controladas de compostaje. Método por análisis del dióxido de carbono producido. Parte 1 - Método general.

IRAM 29424 Determinación de la biodegradación anaeróbica última de materiales plásticos bajo condiciones de digestión anaeróbica con alto contenido de sólidos. Método de análisis del biogás liberado.

IRAM 13700 – Símbolos gráficos de codificación para identificación de la resina. El Sistema de Codificación para artículos de plástico que detalla la Norma IRAM 13700 identifica el tipo de material plástico, por materia prima, usado para su elaboración, facilitando con ello su posterior recolección, separación y reciclado

IRAM 13710 – Materiales plásticos reciclables. Clasificación y requisitos (Fardos). Esta norma establece los requisitos para los fardos de materiales plásticos reciclables de polietileno tereftalato (PET), polietileno de baja densidad (PEBD), polietileno de alta densidad (PEAD), que se producen en los centros de clasificación o separación a partir de residuos domiciliarios, comerciales, agrícolas e industriales, asimilables a domiciliarios, y que se utilizan posteriormente como materia prima secundaria en la industria del reciclado. De esta manera se busca promover el reciclado de los materiales plásticos posconsumo.

IRAM 1610 – Durmientes sintéticos – Requisitos y métodos de ensayo. Esta norma fue tomada por la resolución de ferrocarriles que se cita en este informe (Resolución Conjunta 2/2020: MAyDS de la Nación y el MINISTERIO DE TRANSPORTE).

## **8.7 Futuro instrumento internacional vinculante en materia de gestión de residuos plásticos**

Del 28 de febrero al 02 de marzo de 2022 se reunió la Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente en Nairobi, y aprobó la UNEA resolución 5/14, titulada *“Poner fin a la contaminación por plásticos: hacia un instrumento internacional jurídicamente vinculante”*.

La Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente acordó la creación de un nuevo acuerdo legalmente vinculante sobre la contaminación por plásticos. La resolución constituye un Comité Intergubernamental de Negociación que desarrollará el contenido específico del nuevo tratado, con el objetivo de completar su trabajo para fines del año 2024. A pesar de lo antes dicho, los Estados miembros de la ONU establecieron que los siguientes elementos deben ser considerados en el desarrollo del nuevo tratado:

- Objetivos globales para hacer frente a la contaminación plástica en entornos marinos y otros, y sus impactos.
- Obligaciones y medidas mundiales a lo largo de todo el ciclo de vida de los plásticos, incluido el diseño de productos, el consumo y la gestión de residuos.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

- Un mecanismo para proporcionar información y evaluación científica relevante para las políticas que serán aplicadas sobre de los residuos plásticos, incluido el diseño de productos, el consumo y la gestión de residuos.
- Un mecanismo para proporcionar apoyo financiero a la implementación del tratado.
- Medidas de cooperación nacional e internacional.
- Planes de acción nacionales y presentación de informes para la prevención, reducción y eliminación de la contaminación plástica.
- Evaluación del progreso en la aplicación del Tratado.

Asimismo, la resolución reconoce que la contaminación plástica constituye una amenaza para todos los entornos y plantea riesgos para la salud humana. Reconoce el papel del sector privado, y de todas las partes interesadas en el desarrollo y la aplicación del tratado, y hace hincapié en que el problema debe resolverse a través de medidas a lo largo de todo el ciclo de vida del plástico.

El futuro acuerdo global sobre la contaminación plástica para el año 2024 será jurídicamente vinculante con normas y regulaciones comunes que permitan ampliar las soluciones para una economía circular en todo el mundo; incorporará regulaciones globales a lo largo de todo el ciclo de vida de los plásticos -incluidas las prohibiciones globales de productos y acciones nocivas, los estándares de diseño de productos y las medidas que reducen la producción y el consumo del plástico virgen-, y reconocerá el papel fundamental de los recuperadores informarles en el impulso de una economía circular, permitiendo la participación de este sector en las negociaciones.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) se comprometió a convocar un foro a finales de este año 2023, junto con la primera sesión del Comité Intergubernamental, para compartir conocimientos y mejores prácticas utilizadas en diferentes partes del mundo.

Algunos de los datos que se tuvieron en cuenta en la reunión de Naerobi, son los siguientes:

1. La contaminación por plástico pasó de dos millones de toneladas en 1950 a 348 millones en 2017, convirtiéndose en una industria mundial valorada en 522.600 millones de dólares, según datos del Programa. Se espera que de aquí a 2040, se duplique su cantidad.
2. Los impactos de la producción y la contaminación debida a los plásticos son una catástrofe en ciernes en el contexto de la triple crisis planetaria del cambio climático, la pérdida de la naturaleza y la contaminación, dijo la agencia de la ONU.
3. La exposición a los plásticos perjudica la salud humana, y puede afectar a la fertilidad, la actividad hormonal, metabólica y neurológica, mientras que la quema abierta de plásticos contribuye a la contaminación del aire.
4. Para el año 2050, las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la producción, uso y eliminación de plásticos representarán el 15% de las emisiones permitidas, según el objetivo de limitar el calentamiento global a 1,5°C

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

5. Más de 800 especies marinas y costeras se ven afectadas por esta contaminación por ingestión, enredo y otros peligros
6. Cada año llegan a los océanos unos 11 millones de toneladas de residuos plásticos. Esta cifra podría triplicarse de aquí a 2040
7. Un cambio hacia una economía circular puede:
  - reducir el volumen de plásticos que llegan a los océanos, calculado en más de un 80% para 2040,
  - disminuir la producción de plástico virgen en un 55%,
  - ahorrar a los gobiernos 70.000 millones de dólares para 2040,
  - reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 25%, y
  - crear 700.000 puestos de trabajo adicionales, principalmente en los países del sur

La resolución se basa en tres proyectos de resolución iniciales de varias naciones, establece un Comité Intergubernamental de Negociación (INC), que comienza su trabajo con la ambición de completar un proyecto de acuerdo global legalmente vinculante para finales del año 2024.

Para el año 2024 se espera que se presente un instrumento jurídicamente vinculante, que refleje diversas alternativas para abordar el ciclo de vida completo de los plásticos, el diseño de productos y materiales reutilizables y reciclables, y la necesidad de mejorar la colaboración internacional para facilitar el acceso a la tecnología, la creación de capacidades y la cooperación científica y técnica.

### **8.8 Punteo de los principales temas que se consideran importantes para lograr la gestión eficaz de los residuos plásticos. Problemas que se detectan en la legislación.**

Luego de este apretado resumen en el que se menciona la legislación más importante que regula la gestión de los residuos no peligrosos y residuos plásticos - que no pretende ser completa ya que como se aclaró en la primera parte de este informe, todos los municipios o desagregaciones gubernamentales primarias tienen competencia para legislar sobre la materia-, y de lo acordado en la reunión internacional realizada en marzo de 2023 en Nairobi; se concluye que en países federales como Argentina donde existe una profusión muy grande de normas, resulta importante unificar criterios y definir temas esenciales mediante la sanción de una norma que resulte aplicable en todo el país, sin que ésta altere las competencias locales.

Por lo tanto, cabe volver a mencionar que en el caso de que Argentina ratifique por una ley el futuro instrumento internacional que se está discutiendo en el seno de la Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente con el objetivo de poner fin a la contaminación por plásticos, éste será de aplicación en todo el país. Sin embargo, para poder lograr su cumplimiento efectivo -como todo instrumento normativo internacional que se inserta en un sistema jurídico-, será necesario adaptarlo a la realidad del país a los fines de que sus mandatos puedan ser eficaces, y no se quede en una mera intención de deseos, o de reafirmación de principios ya introducidos en nuestro ordenamiento jurídico que no puedan bajarse a la práctica.

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

A continuación -aclarando además que este capítulo es estrictamente jurídico-, se realizará un punteo de temas que se encuentran legislados en forma desordenada y desprolija en algunas jurisdicciones locales con diferencias sustanciales entre ellas, los que deberían ser incluidos en una norma de presupuestos mínimos de fácil cumplimiento y aplicación en todo el territorio del país:

- Introducir el principio de economía circular como principio rector, pudiendo controlar todo el ciclo de vida de los plásticos,
- Incluir prohibiciones globales de determinados productos fijando estándares de diseño y medidas que reduzcan la producción y el consumo del plástico virgen.
- Prohibir el uso de plásticos que produzcan efectos adversos para la salud humana y el medio ambiente al tiempo de su tratamiento final, disposición o transformación, y además cuando los mismos sean de imposible neutralización utilizando la mejor tecnología disponible.
- Establecer un sistema de obligaciones extendidas aplicable a los productores de plásticos, envases y quienes utilizan envases plásticos para comercializar sus productos.
- Disponer importantes incentivos económicos para la reconversión de los procesos industriales para quienes con el fin de mantener fuentes de trabajo digno: (i) producen plástico con material virgen, (ii) reúsan desechos plásticos como materia prima en sus procesos, (iii) los utilizan o puedan utilizarlos como combustible para generar energía, y (iv) los que reciclan residuos plásticos para convertirlos nuevamente en materia prima. De esta forma se estaría bajando a la práctica el principio de sustentabilidad contenido en la LPMN N° 25.675<sup>xix</sup>, especialmente en su arista social.
- Fijar plazos cumplibles para llegar a reconvertir los procesos industriales por parte de los productores de plásticos<sup>xx</sup>, conforme el principio de progresividad<sup>xxi</sup> contenido en la LPMN N° 25.675.
- Si bien las normas sobre residuos no peligrosos en las diferentes jurisdicciones del país poseen regulaciones similares para la gestión de residuos, debería unificar algunas definiciones básicas, como: grandes, medianos y pequeños generadores de residuos no peligrosos -entre los que se encuentran los plásticos-, disponiendo en forma clara, obligaciones simples de separación en origen para cada tipo de generador, sean éstos personas humanas o jurídicas.
- Uniformar definiciones técnicas, pudiendo tomarlas de las normas IRAM que resultan muy claras, y han sido dictadas teniendo en cuenta las particularidades que tiene nuestro país en la producción de plásticos, su uso y la generación de residuos. Se aclara que me refiero a definiciones básicas, porque cuestiones técnicas que sufren cambios constantes conforme los avances tecnológicos, deben estar en normas reglamentarias de carácter administrativo, menos rígidas que puedan ser modificadas con mayor facilidad que una ley.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

- Capacitar a los educadores en los distintos niveles de enseñanza formal, para que incluyan el tema de segregación, reúso y tratamiento de plásticos en forma orgánica, simple y constante. También realizar campañas de comunicación informal sobre la materia para la población en general, todo conforme lo determinado por la LPMN N° 27.621 que regula la implementación de la educación ambiental integral en la República Argentina <sup>xxii</sup>.
- Regular incentivos económicos reales, para los generadores de residuos plásticos, a los fines de que se realice la segregación conforme a los distintos tipos de plásticos y se cumpla la obligación de reducir hasta el punto de eliminar completamente el envío de residuos a relleno sanitario (cero landfill). Para ello, se sugiere introducir desgravaciones impositivas para quienes los comercialicen conforme el principio de economía circular, pudiendo mejorar lo ya establecido en la Resolución AFIP N° 2849/2010 modificada por la Resolución N° 2974/2010 AFIP entre otras.
- Establecer para los grandes y medianos generadores, lineamientos claros y sencillos para la presentación de sus planes de gestión de residuos plásticos, facilitando también de esta forma el análisis y control por parte de las autoridades de aplicación.
- Determinar requisitos mínimos de almacenamiento de residuos plásticos conforme sus características, considerando que se realice en lugares techados (en especial para aquéllos que poseen la capacidad de reúso, reciclado, o bien de causar contaminación al agua y al suelo por efecto de viento).
- Al mismo tiempo, si bien el transporte y entrega de residuos en plantas de reciclado y reúso de residuos se encuentra normado en la mayoría de las jurisdicciones locales más populosas del país, puede observarse que tampoco se encuentran reguladas medidas de seguridad para los recuperadores urbanos, o quienes operan los residuos en destinos sustentables. En este punto se menciona, la Resolución N°82/2023 del Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social<sup>xxiii</sup> por la que se aprueba el Programa de Empleo Verde, norma de carácter voluntario que puede tomarse como modelo.

La norma potestativa antes mencionada, se entiende que resulta útil, especialmente por la definición de “empleo verde” como *“todo aquel que cumple con los estándares de empleo decente o trabajo digno y que contribuye además a preservar y restaurar los recursos naturales, el ambiente y/o la biodiversidad tanto en sectores tradicionales como en sectores emergentes*. Su objeto es impulsar el crecimiento, favorecer las actividades económicas más cuidadosas en el uso de los recursos naturales y el impacto ambiental, acompañar a los trabajadores y a las unidades productivas en la transición hacia una sociedad más justa en términos sociales, económicos y ambientales. En el caso de los plásticos, entiendo que la nueva regulación debería ser específica respecto a las medidas de seguridad para los recuperadores urbanos de este tipo de residuos, los que, sin lugar a dudas, deberán ser capacitados para desarrollar su tarea en forma segura.

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

- Menos importante que los anteriores puntos, pero que ordenarían la gestión integral de los plásticos en el país, es unificar los colores de los contenedores y bolsas en los que se almacenan y transportan los residuos plásticos.
- Formar inspectores en todas las dependencias locales gubernamentales con competencia en el tema, para que la norma pueda ser fiscalizada y cumplida.
- La norma también debería establecer formas de disposición final para los plásticos biodegradables, incluyendo pautas objetivas para la instalación de plantas de compostaje y otros sistemas posibles de disposición sustentable.

Como conclusión final, y esperando que haya sido claro el desarrollo de este complejo capítulo, se entiende que el instrumento legal que se sancione sobre la materia, debe:

(a) establecer como mandato obligatorio, la realización de campañas de concientización y capacitación a todos los sujetos involucrados en la gestión integral de los plásticos,

(b) lograr concretar consensos regionales para la gestión integral de los plásticos;

(c) adaptar instrumentos jurídicos, políticas sociales, definiciones técnicas y económicas a las realidades de las diferentes jurisdicciones locales con apoyo y guía del Estado Nacional, para que el contenido de la o las normas que se sancionen y dicten, puedan llegar a ser cumplidas en forma eficiente siguiendo el principio de subsidiariedad<sup>xxiv</sup> contenido en la LPMN N° 25.675,

(d) lograr simplificar y aunar criterios para que los gobernantes de todas las jurisdicciones puedan aplicar los sistemas de gestión de los residuos plásticos, internalizando en un tiempo breve la problemática para llegar a soluciones eficaces.

Conforme todo lo antes expuesto, surge en forma clara que, si bien es el Estado a través de sus poderes, es quien tienen la responsabilidad de conducir este complejo proceso, sancionando, dictando, aplicando normas claras, y tomando firmes decisiones; también la sociedad a través de sus instituciones intermedias (uniones industriales, comerciales, sindicatos, organizaciones comunitarias, universidades, centros de investigación, etc.), deben coadyuvar a obtener resultados progresivos y continuos.

Para terminar esta conclusión, se agrega, que sería de gran ayuda para incorporar medidas específicas eficientes y no cometer errores en las nuevas normas que puedan aprobarse sobre la materia, que trabajos de investigación puedan dimensionar el grado de cumplimiento de los marcos normativos sobre residuos no peligrosos valorizables que actualmente se encuentran en aplicación en las distintas jurisdicciones, a los fines de conocer: (i) los avances producidos, (ii) las virtudes y defectos de los instrumentos de gestión contenidos en los mismos, (iii) como así también las dificultades que poseen las distintas autoridades de aplicación para implementar la normativa actualmente vigente.

## 8.9 Referencias bibliográficas

Alberdi, Juan Bautista (1984). Bases y puntos de partida para la organización política de la República Argentina. Buenos Aires: Ed. Eudeba.

Andorno, Roberto; "El principio de precaución, un nuevo estándar jurídico para la era tecnológica", en su artículo publicado en la revista La ley del 18/07/2002

Bidegain, Carlos María (1980). Cuadernos de Derecho Constitucional. Buenos Aires: Ed. Abeledo Perrot

Di Lauro, Alessandra, Universidad de Pisa, Italia, en su artículo "El desarrollo sostenible, su caracterización internacional y su conceptualización a nivel europeo", traducido y publicado por la UNLP en libro dirigido por el Dr. Leonardo Fabio Pastorino en el año 2008, Ed. Cooperativas, págs. 205 a 217

Flores, María Marcela (1997) "Los Residuos Industriales en la Provincia de Buenos Aires". Ed. La Ley, Suplemento de Derecho Ambiental. Noviembre de 1997.-

Flores, María Marcela: Rumbo Ambiental III, Cap. "El desarrollo sostenible y la razonabilidad en las soluciones de problemas ambientales", Ed. Eudeba, 2016

Frías, Pedro José y otros (1989). Las Nuevas Constituciones Provinciales. Buenos Aires: Ed. DEPALMA.

González, Joaquín V. "Manual de la Constitución argentina", en "Obras completas", vol. 3, Buenos Aires, 1935.

González, Joaquín Víctor (1980). Manual de la Constitución Argentina. Buenos Aires: Ed. Estrada.

Gordillo, Agustín, "Tratado de Derecho Administrativo", Tomo I.

Iturburu Potestades, Mónica Silvana y Restricciones Constitucionales para un Nuevo Modelo de Gestión Local (2° edición) 1 Instituto Nacional de la Administración Pública Dirección Nacional de Estudios y Documentación Dirección de Estudios e Investigaciones. Año 2001.

Morello, Augusto M. " El régimen municipal en la provincia de Buenos Aires" J.A. N° 5992, 03/07/96

Quiroga Lavié, Humberto (1987). Derecho Constitucional. Buenos Aires: Ed. DEPALMA.

Quiroga Lavié, Humberto; BENEDETTI, Miguel Ángel y Cenicacelaya, María de las Nieves (2001). Derecho Constitucional Argentino. Santa Fe: Ed. Rubinzal - Culzoni

Sagüés, Néstor P. (1999). Elementos de Derecho Constitucional. Buenos Aires: Ed. Astrea.

Sayagués Laso, Enrique, "Tratado de derecho administrativo", t.I, 4ª edición, Montevideo, 1974.

Tawil, Guido S., Administración y Justicia, t.I, Buenos Aires 1993, p.173. y Procedimiento Administrativo, pág.162 y sig., Ed. Abeledo Perrot, 2009

## 8.10 Notas

<sup>i</sup> Artículo 123 de la CN: Cada provincia dicta su propia constitución, conforme a lo dispuesto por el art. 5° asegurando la autonomía municipal y reglando su alcance y contenido en el orden institucional, político, administrativo, económico y financiero.

<sup>ii</sup> Augusto M. Morello " El régimen municipal en la provincia de Buenos Aires" J.A. N° 5992, 03/07/96

<sup>iii</sup> En este fallo, con respecto a las restantes pretensiones, la CSJN recordó que para que proceda su competencia originaria resulta necesario que se configure la Inter jurisdiccionalidad prevista en la Ley General del Ambiente, que -por otra parte- ésta no se encontraba acreditada en función de las referidas medidas preliminares, y que no se advertía que las provincias demandadas y el Estado Nacional tuvieran un interés directo en el pleito que surgiera de forma manifiesta. Concluyó así que la causa resultaba ajena a la competencia originaria del Tribunal

<sup>iv</sup> Conforme opinión de Humberto Quiroga Lavié, La Constitución de la Nación Argentina Comentada, (mayo de 1996) Ed. Zabalía, Buenos Aires, Argentina. Pág. 17 y 207

<sup>v</sup> Concepto acuñado como Desarrollo Sostenible en la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente, realizada en Río de Janeiro, Año 1992 y desagregada su definición en varios Principios (Principios 3, 4 y 8 de la carta de la Tierra)

<sup>vi</sup> Art. 14.- En este Código se reconocen:

a) Derechos individuales;

b) Derechos de incidencia colectiva;

La ley no ampara el ejercicio abusivo de los derechos individuales cuando pueda afectar al ambiente y a los derechos de incidencia colectiva en general. Art. 240.- El ejercicio de los derechos individuales sobre los bienes mencionados en las Secciones 1° y 2° públicos y privados) debe ser compatible con los derechos de incidencia colectiva. Debe conformarse a las normas del derecho administrativo nacional y local dictadas en el interés público y no debe afectar el funcionamiento ni la sustentabilidad de los ecosistemas de la flora, la fauna, la biodiversidad, el agua, los valores culturales, el paisaje, entre otros, según los criterios previstos en la ley especial.

Art. 241.- Cualquiera sea la jurisdicción en que se ejerzan los derechos, debe respetarse la normativa sobre presupuestos mínimos que resulte aplicable.

<sup>vii</sup> Ver "El Federalismo y la nueva ley general del ambiente", publicada por el Dr. Daniel Sabsay y Dra. Ma. Eugenia Di Paola, en Anales de Legislación Argentina, Boletín Informativo, Año 2002, N° 32, pág. 47.

<sup>viii</sup> El Código Civil y Comercial de la Nación en su artículo 1941 define dominio como "... *derecho real que otorga todas las facultades de usar, gozar y disponer material y jurídicamente de una cosa...*" Por este motivo el titular del dominio posee "*ius abutendi, ius utendi y ius fruendi*".

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

Elementos desarrollados en la obra colectiva: “Tercer Encuentro de Colegios de Abogados sobre Temas de derecho agrario”, en febrero de 2001, publicada por el Instituto de derecho agrario del Colegio de Abogados de Rosario.

La mayoría de la doctrina es conteste en establecer que para que el principio precautorio se haga efectivo, se deberán realizar estudios que demuestren que las actividades se realizan dentro los parámetros permitidos por la norma. En este sentido, citamos uno de sus antecedentes internacionales más remotos, la Convención de Derecho del mar de Montego Bay en su artículo 204 y el artículo 1, en los cuales se solicita el monitoreo de las actividades que pudieren ocasionar daño al ambiente. También citamos al profesor Michel Prieur, quien en su libro *Droit de l'environnement*, pág. 67, donde desarrolla este principio, mencionando el artículo 130 R del Tratado de Maastricht, señala que con la aplicación del principio se trata de impedir la producción de agresiones al ambiente con medidas apropiadas, citando como instrumentos aptos estudios de impacto ambiental, monitoreos o ecoauditorías, según el tipo de actividad a la cual nos referimos.

<sup>xi</sup> En la causa M.1569 XL, “Mendoza, Beatriz Silvia y otros c/Estado Nacional y otros s/daños y perjuicios” (daños derivados de la contaminación ambiental del Río Matanza Riachuelo) se receptaron los principios de progresividad, solidaridad, cooperación y el de subsidiariedad teniendo en cuenta la necesaria colaboración del Estado nacional y la responsabilidad de la provincia de Buenos Aires y de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

<sup>xii</sup> Corte Suprema de Justicia de la Nación sostiene que la base de la legalidad es “el prudente y razonable ejercicio de las facultades regladas del poder administrador”, admitiendo su competencia en la revisión judicial de las medidas adoptadas sin tener en cuenta lo antes enunciado. Fallos: 306:820 del 10 de julio 1984, Marra de Melincoff, Alicia L. c/Universidad de Buenos Aires, La Ley 1984-D-429.

<sup>xiii</sup> Artículos de la Constitución Nacional que regulan la suscripción de convenios internacionales por la provincias y CABA además el 124: Artículo 125.- Las provincias pueden celebrar tratados parciales para fines de administración de justicia, de intereses económicos y trabajos de utilidad común, con conocimiento del Congreso Federal; y promover su industria, la inmigración, la construcción de ferrocarriles y canales navegables, la colonización de tierras de propiedad provincial, la introducción y establecimiento de nuevas industrias, la importación de capitales extranjeros y la exploración de sus ríos, por leyes protectoras de estos fines, y con recursos propios. Las provincias y la ciudad de Buenos Aires pueden conservar organismos de seguridad social para los empleados públicos y los profesionales; y promover el progreso económico, el desarrollo humano, la generación de empleo, la educación, la ciencia, el conocimiento y la cultura.

Artículo 126.- Las provincias no ejercen el poder delegado a la Nación. No pueden celebrar tratados parciales de carácter político; ni expedir leyes sobre comercio, o navegación interior o exterior; ni establecer aduanas provinciales; ni acuñar moneda; ni establecer bancos con facultad de emitir billetes, sin autorización del Congreso Federal; ni dictar los códigos Civil, Comercial, Penal y de Minería, después de que el Congreso los haya sancionado; ni dictar especialmente leyes sobre ciudadanía y

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN  
UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

naturalización, bancarrotas, falsificación de moneda o documentos del Estado; ni establecer derechos de tonelaje; ni armar buques de guerra o levantar ejércitos, salvo en el caso de invasión exterior o de un peligro tan inminente que no admita dilación dando luego cuenta al Gobierno Federal; ni nombrar o recibir agentes extranjeros.

Artículo 127.- Ninguna provincia puede declarar, ni hacer la guerra a otra provincia. Sus quejas deben ser sometidas a la Corte Suprema de Justicia y dirimidas por ella. Sus hostilidades de hecho son actos de guerra civil, calificados de sedición o asonada, que el Gobierno Federal debe sofocar y reprimir conforme a la ley.

Artículo 129.- La ciudad de Buenos Aires tendrá un régimen de gobierno autónomo, con facultades propias de legislación y jurisdicción, y su jefe de gobierno será elegido directamente por el pueblo de la ciudad. Una ley garantizará los intereses del Estado nacional, mientras la ciudad de Buenos Aires sea capital de la Nación. En el marco de lo dispuesto en este artículo, el Congreso de la Nación convocará a los habitantes de la ciudad de Buenos Aires para que, mediante los representantes que elijan a ese efecto, dicten el estatuto organizativo de sus instituciones.

<sup>xiv</sup> Ley Nacional N° 25.018 establece el régimen jurídico básico aplicable a la gestión de los residuos radiactivos. En su artículo 3 define “Residuo Radiactivo”, y dispone que el Estado Nacional será responsable por la gestión de los residuos radiactivos, una vez que se opere la transferencia de los mismos del generador al Estado, en los términos y siguiendo las condiciones de aceptación que establezca la CNEA.

<sup>xv</sup> Ley Nacional N° 25.612, define que entiende por Residuos industrial y de servicio.

<sup>xvi</sup> Ley Nacional N° 24051 de residuos peligrosos.

<sup>xvii</sup> Ley Nacional N° 24.051 a nivel nacional se encuentran regulados en el mismo cuerpo normativo los peligrosos y los patológicos, algunas provincias poseen legislación diferenciada de los peligrosos.

<sup>xviii</sup> Principios que se encuentran también incluidos en Directivas de la Unión Europea, especialmente en la Directiva de la de la Comunidad Europea, actualmente Unión Europea 75/442.

El Decreto Nacional N° 392/2023 a su vez fue reglamentado por la Resolución Conjunta Nacional 6/2023 del Ministerio de Economía y el MAyDS de la Nación que aprueba el procedimiento de importación incluyendo una consulta previa y autorización de Importación. Así, el procedimiento de importación regirá para las personas humanas y jurídicas que, en su carácter de importadoras de residuos no peligrosos valorizados requieran el permiso de ingreso de residuos para ser utilizados como insumo para un proceso productivo determinado o como producto de uso directo siempre que no pudieran ser abastecidos por la oferta existente a nivel nacional. Además, se encuentra expresamente prohibido el ingreso al territorio nacional de residuos no peligrosos valorizados para su comercialización, y/o con destino a valorización energética y/o para disposición final. El decreto también establece provisiones aplicables al tránsito de residuos valorizables por el territorio nacional con destino a un tercer país.

## LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

La norma define como residuos no peligrosos valorizados a aquellos que, no estando encuadrado en los alcances de la normativa nacional en materia de residuos peligrosos, haya sido sometido a una operación de valorización, entendiendo como tal al procedimiento que permite el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos, mediante el reciclaje en sus formas física, química, mecánica o biológica, y su reutilización.

En resumen para importar residuos no peligrosos como insumos de un proceso productivo o como producto de uso directo -entre los que se encuentran los residuos plásticos-, se debe realizar una consulta previa y obligatoria al Sistema de Información para la Economía Circular (S.I.E.C.), obtener un Certificado Provisorio de No Afectación de la Oferta Nacional o el Certificado Provisorio de Afectación Parcial de la Oferta Nacional, u obtener un dictamen favorable de la Dirección de Industria Sostenible. Una vez obtenido este certificado cuyo objeto es para promover los principios que sustentan la economía circular dentro del país, se debe presentar el antiguo certificado de inocuidad sanitario y ambiental que demuestre la no peligrosidad del residuo emitida por autoridad competente, de acuerdo con los procedimientos establecidos en su país de origen. En el caso de proceder de países que no cuentan con procedimientos para emitir dichos certificados, debe presentarse una Declaración Jurada suscripta por el representante legal y un representante técnico del importador en el que se asegure que los residuos que se quieren importar no se encuentran enmarcados bajo la normativa nacional en materia de residuos peligrosos vigente.

Por el principio de subsidiariedad el Estado Nacional, a través de las distintas instancias de la administración pública, tiene la obligación de colaborar y -de ser necesario- participar en forma complementaria en el accionar de los particulares en la preservación y protección ambientales.

Principio de sustentabilidad: El desarrollo económico y social y el aprovechamiento de los recursos naturales deberán realizarse a través de una gestión apropiada del ambiente, de manera tal, que no comprometa las posibilidades de las generaciones presentes y futuras.

<sup>xxi</sup> Principio de progresividad: Los objetivos ambientales deberán ser logrados en forma gradual, a través de metas interinas y finales, proyectadas en un cronograma temporal que facilite la adecuación correspondiente a las actividades relacionadas con esos objetivos.

<sup>xxii</sup> La Ley N° 27.621 tiene por objeto establecer el derecho a la educación ambiental integral como una política pública nacional conforme a lo dispuesto en el artículo 41 de la Constitución Nacional y de acuerdo con lo establecido en el artículo 8° de la Ley General del Ambiente, 25.675. Define Educación Ambiental Integral (EAI) como un proceso educativo permanente con contenidos temáticos específicos y transversales, que tiene como propósito general la formación de una conciencia ambiental, a la que articulan e impulsan procesos educativos integrales orientados a la construcción de una racionalidad, en la cual distintos conocimientos, saberes, valores y prácticas confluyan y aporten a la formación ciudadana y al ejercicio del derecho a un ambiente sano, digno y diverso. Se trata de un proceso que defiende la sustentabilidad como

proyecto social, el desarrollo con justicia social, la distribución de la riqueza, preservación de la naturaleza, igualdad de género, protección de la salud, democracia participativa y respeto por la diversidad cultural. Busca el equilibrio entre diversas dimensiones como la social, la ecológica, la política y la económica, en el marco de una ética que promueve una nueva forma de habitar nuestra casa común. Y define también Estrategia Nacional de Educación Ambiental Integral (ENEAI) como el instrumento de **planificación estratégica y de la aplicación de una política pública nacional permanente y concertada que alcance a todos los ámbitos formales y no formales de la educación, de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) y medios de comunicación. Está dirigida a todas las edades, grupos y sectores sociales, con el fin de territorializar la educación ambiental mediante acciones en el corto, mediano y largo plazo.**

<sup>xxiii</sup> **Resolución N°82/2023 – Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social – Programa de Empleo Verde publicada el 23 de febrero de 2023.** Por esta norma se crea en el ministerio el **Programa de Empleo Verde**, que tiene por objeto impulsar el crecimiento del empleo verde, favorecer las actividades económicas más cuidadosas en el uso de los recursos naturales y el impacto ambiental, y acompañar a los trabajadores y a las unidades productivas en la transición hacia una sociedad más justa en términos sociales, económicos y ambientales.

Se define “empleo verde” a todo aquel que cumple con los estándares de empleo decente o trabajo digno y que contribuye además a preservar y restaurar los recursos naturales, el ambiente y/o la biodiversidad tanto en sectores tradicionales como en sectores emergentes.

**Objetivos del programa:** (i) impulsar la creación de empleos verdes; (ii) promover la formación profesional, certificación y mejora de las competencias laborales en perfiles ocupacionales que sean ambientalmente sustentables; (iii) acompañar a trabajadores en procesos de transición justa buscando reducir el impacto negativo que pueden generar los cambios en el mercado de trabajo; (iv) favorecer la movilidad de trabajadores y de empresas hacia sectores de actividad verdes en función del producto final o el proceso de trabajo; (v) identificar oportunidades estratégicas a nivel sectorial y territorial para la promoción y creación de empleos verdes; (vi) impulsar la formalización de trabajadores y unidades productivas que realizan actividades ambientalmente sostenibles; (vii) acompañar y sostener el empleo en la transición hacia una economía verde; (viii) desarrollar acciones positivas contra todas las formas de discriminación en el mundo del trabajo bajo un abordaje interseccional que considere las características de los trabajadores en situación de vulnerabilidad y riesgo de exclusión del mercado laboral, en particular por motivos de género, edad, discapacidad y étnico – raciales.

### 8.11 Abreviaturas y acrónimos

AMBA Área Metropolitana de Buenos Aires.

AMPBA Área Metropolitana de la Provincia de Buenos Aires.

AMN Asociación MERCOSUR de Normalización

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN  
UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

ANSTO Organización Australiana para la Ciencia y Tecnología Nuclear.

APN Administración de Parques Nacionales

A.R.S.U.C. Agencia de Residuos Sólidos Urbanos de Catamarca “ASTM” (American Society for Testing and Materials)

AVU Aceite Vegetal Usado

BID Banco Interamericano de Desarrollo

BVD Bienes Voluminosos en Desuso

BO Boletín Oficial

CAA Certificado de Aptitud Ambiental

CABA Ciudad Autónoma de Buenos Aires

CCyCN Código Civil y Comercial de la Nación

CEAMSE Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado,

CPBA Constitución de la provincia de Buenos Aires

CCABA Constitución de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires COFEMA Consejo Federal de Medio Ambiente

CONADIBIO Comisión Nacional Asesora para la Conservación y Utilización Sostenible de la Diversidad Biológica.

COPANT Comisión Panamericana de Normas Técnicas COPROMA Consejo Provincial de Medio Ambiente

CSJN Corte Suprema de Justicia de la Nación

CT Cooperación Técnica

DIA Declaración de Impacto Ambiental

EN (European Standard)

EIA Evaluación de Impacto Ambiental

EsIA Estudios de Impacto Ambiental

EPGIRSU Estrategia Provincial para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos

Ex OPDS Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible de la provincia de Buenos Aires

FORSU Fracción orgánica de residuos

GIRO Sistema de Gestión Integral de Residuos y Otros

GIRSU Gestión de Residuos Sólidos Urbanos

GMC Grupo Mercado Común del Mercosur

IEC Comisión Electrotécnica Internacional

INC Comité Intergubernamental de Negociación

INVAP SE Investigación Aplicada Sociedad del Estado

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN  
UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación).

ISO Organización Internacional de Normalización

LGA Ley General del Ambiente

LN Ley Nacional

LPMN Ley Nacional de Presupuestos Mínimos

MAYDS hoy SSAN. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación, a la fecha de esta publicación Subsecretaría de Ambiente de la Nación (SSAN)

MAPBA Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires MERCOSUR  
Mercado Común del Sur

NFU Neumáticos Fuera de Uso

NDAS Normas de Desempeño Ambiental y Social

PBA Provincia de Buenos Aires

PCI Plan de Compostaje Institucional

PCR Reciclado Postconsumo

PEN Poder Ejecutivo Nacional

PEP Poder Ejecutivo Provincial

PET Polietilentereftalato

PRECICLO Programa Nacional de Fortalecimiento de la Economía Circular, Inclusiva,  
Comunitaria y Local

PROVO Programa Nacional de Valorización de Orgánicos

RAEEs Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos

RCD Residuos de Construcción y demolición

RENOVATE Programa de Fomento a la Producción y Comercialización de Aparatos  
Eléctricos de Uso Doméstico Eficientes Energéticamente.

CRAEEs El Certificado de Recepción de Residuos de Aparatos Eléctricos o  
Electrónicos (RAEEs)

REGU Residuos Especiales de Generación Universal

RER Registro de Empresas Recolectoras

ROEP Reglamento Operativo Especifico del Proyecto

RUPAYAR Registro Único de Profesionales Ambientales y Aparatos Sometidos a  
Presión

SENASA SERVICIO NAC. DE SANIDAD Y CALIDAD AGROALIMENTARIA

SCJPBA Suprema Corte de la Provincia de Buenos Aires

SGAYDS hoy SSAN. Secretaría General de Ambiente y Desarrollo Sustentable a la  
fecha de esta publicación Subsecretaría de Ambiente de la Nación (SSAN)

LA REGULACIÓN EN ARGENTINA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. PROPUESTA DE PUNTOS A INCLUIR EN  
UNA NORMA QUE REGULE EN FORMA INTEGRAL SU GESTIÓN INTEGRAL.

SI.CO.ECO Sistema de Compensación Ecológico

SIPSVVER Sistema de Información Pública del Sector de la Valorización Energética de Residuos

SPA Secretaría de Política Ambiental

OAT Ordenamiento Ambiental del Territorio

ONU Organización de las Naciones Unidas

PEAD Polietileno de alta densidad

PEBD Polietileno de baja densidad

3RReducir, reciclar y reutilizar

UN Naciones Unidas

UNEA Asamblea Ambiental de Naciones Unidas (United Nations Environment Assembly)

UTF Unidades Turísticas Fiscales.

## Comentarios finales y recomendaciones

La mayoría de los plásticos producidos actualmente están fabricados con materia prima petroquímica. La producción mundial anual de plásticos es actualmente del orden de 400 millones de toneladas. Con respecto a los diferentes plásticos producidos mundialmente el primer lugar fue para polipropileno (PP) (19,3% del total), seguidos de polietileno de baja densidad (14,4%), PVC (12,9%), polietileno de alta y media densidad (12,5%), plásticos reciclados (8,3%.) PET, (6,2%;) poliuretano, (5,5%) poliestireno (PS) y poliestireno expandido (EPS) (5,3%) y los plásticos biobasados (1,5%).

En Argentina se produce en mayor proporción polietileno de alta y baja densidad, seguido de polipropileno, PVC, PET, poliestireno y poliestireno expandido.

Los materiales plásticos de los residuos sólidos urbanos (RSU) son, en su mayor proporción (60%) polietileno (PE) y polipropileno (PP) y en menor proporción, poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC), polietileno-tereftalato (PET).

La contaminación por residuos plásticos es un problema global, que alcanzó los lugares más remotos. Los productos plásticos recolectados en costas de lagos, ríos, mares y océanos, son principalmente los de “un solo uso”. De la producción anual mundial de materiales plásticos, de origen fósil de alrededor de 400 millones de toneladas, 139 millones corresponden a plásticos de un solo uso.

La contaminación por plásticos es una amenaza creciente para todos los ecosistemas, desde donde se originan los residuos plásticos, hasta el mar. Es evidente que se dispone de los conocimientos y los recursos, para cumplir con el objetivo, de controlar la contaminación por plásticos, pero es imprescindible la voluntad política y la acción de los gobiernos.

El reciclaje no es la única salida a la crisis originada por los plásticos, debe considerarse, además, la gestión de los productos plásticos en general y de los de un solo uso en particular y la composición de los plásticos de origen fósil y de los biodegradables.

La principal preocupación es el destino de los microplásticos, los aditivos químicos y los productos fragmentados, muchos de ellos tóxicos para la salud humana, la vida silvestre y los ecosistemas.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) considera que es posible lograr, una reducción del 80 %, en el año 2040, de la contaminación actualmente generada, por los residuos plásticos, cumpliendo con tres principios:

reutilización, reciclaje y uso de materiales alternativos.

El impacto ambiental que originan los residuos plásticos, es perfectamente conocido y se han evaluado los potenciales e importantes riesgos que representan, para los ecosistemas. A pesar de esto último, la cantidad de plásticos producidos y los residuos generados crecen año a año, resultando absolutamente insuficientes, los sistemas de reciclaje y de gestión.

La ONU busca establecer un tratado internacional, jurídicamente vinculante sobre la contaminación por plásticos, en particular en el ambiente marino.

La evidencia científica y la experiencia de los últimos años, demuestra que el problema no se resuelve con la promoción. La solución requiere una urgente intervención internacional global y de los niveles gubernamentales, industriales y ciudadanos de cada país, para cumplir con los tres principios de la UNEP, reutilización, reciclaje y uso de materiales alternativos.

### **Plásticos biodegradables y plásticos bio-basados:**

Los plásticos biodegradables son polímeros que pueden desarrollar una descomposición aeróbica o anaeróbica por acción de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas bajo condiciones que naturalmente ocurren en el medio ambiente. Son degradados por acción enzimática de los microorganismos en condiciones normales del medio ambiente. Los polímeros biodegradables tienen la particularidad que después de su uso se descomponen generando subproductos naturales como gases (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>), agua, biomasa, y sales inorgánicas. Se trata pues de un proceso de descomposición natural y que no deja restos de microplásticos. Es decir, son materias primas que no contaminan el medioambiente.

Cuando se habla de materias primas biodegradables nos referimos a materiales que tienen la capacidad de descomponerse mediante la acción de la naturaleza reintegrándose posteriormente en ella. Este proceso se lleva a cabo por la acción de organismos vivos que hacen uso de ellos para producir energía y poder crear otras sustancias.

Los biopolímeros o polímeros de origen bio se definen como las macromoléculas producidas de forma natural por organismos vivos de cualquier tipo. Los bio-polímeros procedentes de biomasa (recurso renovable) incluyen polisacáridos, como los almidones que se obtienen por ejemplo del maíz, la celulosa, la quitina y su derivado el quitosano; proteínas, como el suero de leche, el gluten derivado de los vegetales, la queratina (derivada de plumas, lana, etc.).

Dentro de los biopolímeros se incluyen también aquellos que, aunque son producidos mediante procesos de síntesis química, están formados por materiales renovables de origen biológico, como es el caso del ácido poliláctico (PLA), que se obtiene por polimerización del ácido láctico.

También se incluyen los polihidroxialcanoatos (PHA) que son producidos intracelularmente por microorganismos en condiciones controladas.

Los términos “biodegradable” y “compostables” no se pueden utilizar indistintamente. El primero describe un proceso, mientras que el otro describe dónde y cuándo ese proceso se producirá.

Los polímeros biodegradables y compostables deben cumplir con las normas que, a nivel europeo, son la EN 13432 y EN 14995, ISO 17088 y su contraparte americana, la norma ASTM D-6400.

No todos los materiales bio-basados son biodegradables, pero hay materiales provenientes de recursos fósiles que pueden ser biodegradables como PBS (succinato de polibutileno), con aplicaciones en la industria del packaging y PBAT (polibutileno adipato tereftalato.)

Este hecho es porque para que un material sea biodegradable, depende de su estructura molecular y no del origen.

Hay dos tipos de plásticos biodegradables: i) Los biodegradables de origen biológico que son bioplásticos fabricados a partir de materiales biológicos como el almidón, o la caña de azúcar. Estos polímeros biodegradables se encuentran en forma natural y también se pueden producir sintéticamente. Se utilizan ya a nivel industrial especialmente en el sector del packaging para la fabricación de envases de comida preparada, vasos, etc. Entre ellos están PLA (ácido poliláctico); PHA (polihidroxicanoatos, plásticos intracelulares microbianos). Bioplásticos basados en almidón, Bioplásticos basados en celulosa

ii) Los materiales biodegradables de origen fósil, que están elaborados a partir de petróleo. Dentro de este tipo de materiales encontramos, el PBS (succinato de polibutileno), con aplicaciones en la industria del packaging y PBAT (polibutileno adipato tereftalato.)

Los plásticos biobasados o bioplásticos no son sinónimos de biodegradables, ya que son aquellos constituidos de compuestos orgánicos que se obtienen de recursos naturales renovables, como plantas y microorganismos. Así por ejemplo existe el bio-Polietileno que presenta exactamente la misma estructura y propiedades que el polietileno convencional derivado del petróleo, la diferencia es el proceso mediante el cual se fabrica; se puede producir a partir de materia prima renovable pero el bio-polietileno no es biodegradable, pero tiene una huella de GHG mucho más baja que el polietileno derivado de combustibles fósiles.

Los bioplásticos actualmente representan a nivel mundial menos de uno por ciento de los más de 400 millones de toneladas de plástico producidos anualmente.

Para producir plástico derivado del petróleo, la cantidad de CO<sub>2</sub> equivalente emitido es de aproximadamente 4-8 kg de CO<sub>2</sub> por kg de plástico, mientras que para producir plástico biodegradable es de alrededor de 1-6 kg de CO<sub>2</sub> por kg de plástico.

Los plásticos biobasados que son biodegradables tienen las siguientes ventajas:

Su composición está exenta de tóxicos como los ftalatos y el bisfenol A.

Reducen la huella de carbono en el proceso de muchas empresas.

Potencian la economía circular.

Contribuyen con la disminución de los gases de efecto invernadero.

Reducen la dependencia de los combustibles fósiles.

Los precios de los plásticos biodegradables son más altos que de los de los polímeros convencionales, lo cual dificulta el crecimiento del mercado en varios segmentos de aplicación. Habría que generar materiales biodegradables a costos competitivos

En Argentina, se fabrican envases biodegradables (eco-envases) a partir de bagazo de caña de azúcar que se degradan en 60 días.

No se fabrica aún materia prima biodegradable para abastecer a la industria; no hay todavía producción de polímeros biodegradables a escala industrial.

### Microplásticos

Cuando los microplásticos son ingeridos por la vida marina, como aves, peces, mamíferos y plantas, provocan efectos tanto tóxicos como mecánicos, lo que da lugar a problemas como la reducción de la ingesta de alimentos, la asfixia, los cambios de comportamiento y la alteración genética.

Los microplásticos pueden liberar sustancias químicas tóxicas al medioambiente y, eventualmente, ingresar a nuestra cadena alimentaria, lo que puede afectar negativamente nuestro sistema endocrino y nervioso

La estrategia de cambiar los plásticos de un solo uso por envases retornables o reutilizables no termina de afianzarse; el envase reutilizable indica que el usuario puede darle más vidas

La estrategia europea apuesta al reciclaje y la disminución de los plásticos de un solo uso, y para el 2030 el 55% de los envases plásticos tendrá que ser reciclables o reutilizables.

### Reciclado mecánico

El reciclado mecánico, de los residuos plásticos, es el proceso más utilizado a nivel internacional, por ser el relativamente más sencillo de implementar y el económicamente más rentable, aún con las limitaciones que presenta.

Existe una creciente inversión en el desarrollo de tecnologías de reciclaje mecánico, destinando recursos a la investigación y al desarrollo de tecnologías innovadoras, que permitan solucionar los problemas presentados, en la selección de los polímeros, presentes en los residuos plásticos, en el incremento de la eficiencia del proceso y de la calidad de producto obtenido, para ampliar su utilización.

Se están realizando importantes avances en la tecnología de clasificación de polímeros de los residuos plásticos, para su selección, mejorando la precisión de los procesos utilizados actualmente.

Se propone otorgar incentivos a las empresas a incorporar, como materia prima en los

procesos de producción, los plásticos reciclados, entre estos últimos los provenientes del reciclado mecánico los que son, en la actualidad internacional y nacional, los más importantes.

Se recomienda contar con regulaciones estrictas de los gobiernos, para disminuir la utilización de los plásticos de un solo uso, requerir la separación en origen, de las diferentes calidades de los residuos plásticos, promover el reciclado de plásticos en general y el reciclaje mecánico en particular, por ser el que representa la menor contaminación ambiental.

El proceso de reciclaje mecánico es la primera opción, pero tiene un límite; a excepción del PET, los plásticos no se pueden reciclar indefinidamente, y la mayor parte del tiempo no se pueden emplear después del reciclaje en la misma aplicación, ya que las propiedades se degradan con cada proceso de fusión.

### Reciclado químico

El reciclado químico conocido también como terciario o avanzado es una tecnología en donde el material plástico se convierte en moléculas más pequeñas, usualmente líquidos o gases, que son usadas como materia prima en nuevos procesos petroquímicos y plásticos.

El reciclado químico se ocupa de los residuos plásticos que no pueden reciclarse mecánicamente por razones técnicas o económicas, y ofrece una solución para los residuos plásticos que están más contaminados o que están constituidos a partir de múltiples materiales. Los plásticos pueden convertirse en un subproducto que se reintroduce en la cadena de valor.

El reciclado químico o reciclado avanzado se ofrece como una tecnología complementaria al reciclaje mecánico para la recuperación de plásticos.

Los procesos de reciclado químico o terciario incluyen a) descomposición térmica o termólisis (gasificación parcial, craqueo térmico o pirólisis, el craqueo catalítico y el hidrocrqueo.) y b) la despolimerización química, proceso homogéneo también denominado quimiólisis que incluye entre otros la glicólisis, la metanólisis, la hidrólisis, amonólisis etc. y se aplica a polímeros producidos por condensación como por ejemplo el PET.

La combinación del reciclado mecánico y químico para transformar los residuos de plástico en reciclado reduce las emisiones de GEI asociadas al uso de plástico primario.

El reciclado químico permite la transformación de todo tipo de residuos plásticos en sus componentes químicos originales. Al crear una nueva materia prima secundaria que ofrece la misma calidad que la materia prima virgen, el reciclado químico puede ayudar a cerrar el ciclo y reducir el consumo de combustibles fósiles.

El cambio de polímeros vírgenes basados en combustibles fósiles a polímeros reciclados como materia prima para la creación de productos plásticos ahorra energía y reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>. Es por eso que el reciclado químico puede ayudar a

combatir el calentamiento global y limitar aún más la huella de CO<sub>2</sub> de los productos plásticos.

A diferencia del reciclado mecánico, el reciclado químico se encuentra mucho menos desarrollado y extendido a escala industrial. Sin embargo, el reciclado químico puede considerarse como un proceso complementario al mecánico ya que es aplicable a determinados materiales para los que el reciclaje mecánico no ofrece actualmente, una solución. Se aplica a los siguientes materiales de envase: materiales con elevada contaminación orgánica, procedente de restos de producto envasado, materiales monocapa fuertemente coloreados, materiales multicapa.

Otra ventaja que tiene el reciclado químico es que se pueden recuperar los plásticos termoestables, como el poliuretano, fenólicos (baquelita, melamina), resinas epoxi etc.

Algunos métodos de reciclado químico ofrecen la enorme ventaja de que no requieren de una separación por tipo de plástico, es decir, que pueden tomar residuos mixtos, reduciendo así los costos de recolección y clasificación, pero, a la vez, produciendo productos finales de alta calidad.

Cuando se utilizan plásticos para el reciclaje químico se obtienen principalmente dos tipos de productos: combustibles (aceite) o un material de alto valor que puede utilizarse como materia prima (polímero, monómero, aromático, etc.). La segunda opción se considera la más deseable, ya que permite cerrar el ciclo, mientras que los combustibles solo permitirán un ciclo de vida secundario a través de la recuperación de energía.

Si bien los procesos de reciclado químico aún están en desarrollo y existen algunas inquietudes acerca de ellos, como la capacidad de ampliación, la viabilidad económica, el impacto ambiental y el sistema logístico requerido (entre todas las etapas involucradas desde la recolección de residuos hasta la salida del producto), se espera que en el futuro este tipo de reciclado se convierta en una solución factible.

La pirólisis es uno de los principales procesos de reciclaje químico en Europa y a nivel mundial. La inversión y las capacidades están creciendo de manera constante, siendo la pirólisis, la más avanzada comercialmente, con una capacidad instalada total esperada de 1,7 millones de toneladas en 2028 sólo en Europa. Actualmente, en Europa, la pirólisis es el único proceso de reciclado autorizado que pueda producir contenido reciclado de poliolefinas de calidad alimentaria a escala. El Centro Común de Investigación de la Comisión Europea (CCI) ha definido que las tecnologías de reciclado químico, incluida la pirólisis, están experimentando rápidos avances tecnológicos.

El estado actual del reciclado químico de residuos plásticos promete convertirse en uno de los principales procesos en los que se puede reducir eficientemente la cantidad de residuos en los vertederos.

### **Recuperación Energética**

En jerarquía, el reciclaje químico debe insertarse por debajo del reciclaje mecánico y por encima de la recuperación de energía.

La recuperación energética es un proceso de valorización de los materiales plásticos en donde se extrae y aprovecha la energía contenida en los mismos. Los plásticos son excelentes combustibles con elevado poder calorífico

La recuperación energética es un proceso adecuado para plásticos no reciclables, degradados o sucios. Debe tenerse en cuenta que la valorización energética debe hacerse en plantas especiales con estricto control de emisiones. En dichas plantas de valorización con recuperación de energía de los residuos plásticos se realiza una combustión controlada. La energía extraída se utiliza para generar electricidad, vapor de agua o calor que se aplica a procesos industriales y calefacción domiciliaria (district heating)

Hay que considerar que es imposible reciclar mecánicamente el 100% de los residuos plásticos. Sin embargo, ciertos sectores cuestionan la tecnología de recuperación energética por colisionar fuertemente con el concepto de economía circular.

La recuperación energética, se debe realizar en hornos apropiados con aprovechamiento de la energía producida. Este tipo de instalaciones son técnicamente complejas y están diseñadas y explotadas de acuerdo a requisitos legales muy estrictos. Se trata de una tecnología de tratamiento de residuos ampliamente contrastada y de elevada fiabilidad. Debe remarcar que estas tecnologías son útiles siempre y cuando las plantas de combustión funcionen de forma adecuada y se controlen las emisiones. Se deben filtrar y purificar los gases cumpliendo normas ambientales internacionales de emisión de gases a la atmósfera.

En Europa, Estados Unidos y Japón se realiza extensivamente la Recuperación Energética para la gestión de los residuos, combinada con el Reciclado Mecánico. Ambos procesos son necesarios y complementarios. En el caso de Dinamarca se recupera así el 98% de sus residuos plásticos, y aprovecha 3,5 millones de toneladas de dichos residuos para producir el 5% de su demanda de electricidad y el 20% de sus necesidades de calefacción.

En Europa, los datos de 2023 indican que el 42,6 % de los residuos plásticos se someten a valorización energética, 24,9 % se disponen en vertederos y 32,5 % son reciclados mecánicamente (Parlamento Europeo 2023)

Otras de las formas de aprovechamiento de los residuos plásticos es su utilización como combustible en altos hornos y cementeras. El uso de los residuos plásticos como agentes reductores para la producción de hierro en altos hornos es muy interesante. Los plásticos contienen una relación H<sub>2</sub>/C superior a la del carbón o el aceite mineral y su gasificación da lugar a un gas de síntesis rico en hidrógeno, que le confiere una mayor capacidad de reducción.

Los plásticos post-consumo también se pueden emplear como combustibles alternativos en los hornos especiales de alta temperatura donde se prepara el cemento. En este proceso, denominado co-procesamiento, se aprovecha el elevado poder calorífico de los plásticos, contribuyendo al cuidado ambiental a través de la valorización de residuos y del ahorro de recursos naturales. Esta técnica se aplica en Europa, Japón y Estados Unidos.

La ventaja de este proceso es que acepta todo tipo de residuos plásticos como fuente alternativa de combustible

En Argentina está vigente la NORMA IRAM 29600 “Co-procesamiento en la industria cementera” cuyo objetivo es establecer los lineamientos básicos para el co-procesamiento en la industria cementera de combustibles y materiales alternativos (CMA) provenientes de residuos y subproductos

## RECOMENDACIONES

### Propuestas Generales

- Llevar a cabo estudios específicos, que permitan determinar con fundamentos precisos, el impacto ambiental generado por los distintos procesos de reciclado. En estos estudios deberían evaluarse todas las alternativas de reciclado, incluyendo la utilización en hormigones, la fabricación de ladrillos, de madera plástica, etc. y el aprovechamiento energético.
- Recolectar, reciclar, reusar, reducir. Son las consignas para que el plástico no acabe en los vertederos, en el mejor de los casos.
- Desarrollar programas de gestión de residuos que prioricen el reciclaje y el compostaje, reduzcan los residuos de los rellenos sanitarios e incentiven a reducir el uso de plástico, así como que incentiven a los usuarios a hacer un uso y disposición responsable de los productos plásticos.
- A pesar de la complejidad del problema del reciclado químico, se deben adaptar inteligentemente catalizadores, solventes, temperaturas, tiempos de residencia y materia prima inicial, para lograr mejores rendimientos de los productos deseados (monómeros, gases, aceites y sólidos). Los esfuerzos deben centrarse en los catalizadores para mejorar la eficiencia general y reducir la temperatura para ir disminuyendo así las demandas energéticas de los procesos de reciclado químico.
- Realizar un estudio integral de las normativas internacionales, especialmente las de la Unión Europea (son las más desarrolladas) relacionadas con la producción de los diferentes polímeros plásticos, la reducción de plásticos de un solo uso, la gestión de los residuos, considerando el proceso de reciclado, la posibilidad de utilización del producto obtenido y el aprovechamiento energético, como última alternativa, para evitar su disposición final en rellenos sanitarios.
- La experiencia de los últimos años, pone en evidencia que el problema del reciclado de plásticos requiere una urgente intervención internacional global (es el objetivo de la ONU) y de los niveles gubernamentales, industriales, económicos y de los ciudadanos de cada país, para cumplir con los tres principios de la UNEP, reutilización, reciclaje y uso de materiales alternativos.
- Recalcar que es importante la divulgación de los riesgos que representa la situación actual acerca de la contaminación con plásticos y concientizar a la población. Para ello es fundamental incorporar en todos los niveles de la educación (primario, secundario y universitario), los principios de gestión y reciclado de los residuos plásticos, para cumplir con el Objetivo de Desarrollo Sostenible de la ONU. El incremento de la población mundial y del nivel de vida de los países en desarrollo, aumentará en forma exponencial, el consumo de materiales plásticos, y si no se

logra una correcta gestión de todo el proceso (alternativas de reemplazo, producción, utilización, gestión de residuos, reciclado y reutilización), se pondrá en riesgo el equilibrio ambiental.

- La cuarta Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, realizada en Nairobi en 2019 ha logrado un acuerdo global para reducir el consumo de plásticos de un solo uso. Se propone explorar tecnologías de producción de plásticos biodegradables provenientes de fuentes renovables para su utilización en la fabricación de elementos plásticos descartables de un solo uso.

### Propuestas para Argentina

Los materiales plásticos tienen hoy un rol fundamental en el funcionamiento de la economía, estando presentes en todas las cadenas de valor, en la industria del envase, construcción, automotriz, aviación, alimenticia, farmacéutica, medicina, electrónica, materiales eléctricos, etc. Son materiales esenciales por su funcionalidad, disponibilidad y costo. Junto con el acero, el cemento y los fertilizantes, constituyen los pilares de la sociedad moderna.

Los plásticos, como parte principal de la industria química, provienen principalmente de los combustibles fósiles y por lo tanto la industria está comprometida en la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, principalmente CO<sub>2</sub>, tanto en sus procesos e insumos, lo que se identifica como 'scope 1 y 2' como en su disposición final, 'scope 3'. Esta última etapa es la más difícil de lograr, requiere la captura de gases, CO<sub>2</sub>, su utilización o almacenaje y en último término el reemplazo de las fuentes de carbono por carbono renovable y/o bio materias primas así como nuevas cadenas de productos con baja huella de carbono.

Como hemos visto en los capítulos anteriores los plásticos, por su larga vida en el ambiente, plantean temas ambientales que deben ser resueltos hoy, sin esperar a desarrollos de materiales como los plásticos biodegradables, que llevarán un tiempo considerable para alcanzar reemplazar en su funcionalidad y costos los hoy derivados de los combustibles fósiles. Las tecnologías para reducir y eliminar el impacto ambiental están hoy disponibles y requieren de la colaboración de todos los involucrados en la cadena de valor de los plásticos, desde productores, comercializadores, usuarios y recicladores.

Los principales instrumentos que tenemos son:

- 1- Reusar
- 2- Rediseñar- (uso intensivo- facilidad de reciclar)
- 3- Reciclar- (mecánico y químico)
- 4- Reducir demanda - (sustitución materiales - cambios en el consumo)
- 5- Recuperación del contenido energético.

Para lograr controlar la disposición final de los plásticos hay que tener una ley de gestión integral de los envases, Sistema Integrado de Gestión, SIG, con énfasis en los plásticos, de alcance nacional, que establezca

1. La separación en origen de los residuos reciclables
2. La recolección diferenciada

3. La clasificación y separación en instalaciones adecuadas
4. La promoción de la industria del reciclado, a través de incentivos impositivos y regulaciones que aumenten progresivamente la participación del reciclado en la materia prima virgen
5. La reconversión gradual de los recicladores/recuperadores urbanos, participando directamente en el empleo formal en los centros de clasificación y reciclado, dando lugar así a la verdadera inclusión social de los mismos.
6. La gestión del proceso de reciclado debería estar conformada con representantes de los fabricantes de materias primas, la industria del plástico, los comercializadores de los envases, los recicladores, quienes deberían cumplir con los objetivos definidos por ley y administrar los recursos que se dispongan o generen para incentivar los distintos procesos de reciclado.
7. La realización de campañas de concientización dirigidas al usuario final y programas para llevar los temas de manejo responsable y reciclado a nivel escolar en todo el país.
8. La Responsabilidad extendida al productor involucra así a toda la cadena del plástico, haciéndolos partícipe del gerenciamiento del sistema y la obtención de los resultados consensuados en la ley para avanzar rápidamente en la eliminación de la contaminación final de los plásticos.

Esta propuesta tiene ejemplos claros similares en el manejo de los residuos plásticos o de otros orígenes en la comunidad europea.

Requiere sobre todo de una revisión y simplificación urgente del laberinto legal que hoy impide avanzar en la resolución de los temas aquí estudiados.

Cualquiera que fuera el marco legal que se legisle tiene que tener en cuenta principalmente los OBJETIVOS aquí mencionados. La ley y sus instrumentos tienen que estar a su servicio y no convertirse en un obstáculo insalvable para su ejecución.

### **Recomendaciones sobre aspectos jurídicos en Argentina**

Se realiza un punteo de temas con comentarios que son estrictamente jurídicos-, que se encuentran legislados en forma desordenada y desprolija en algunas jurisdicciones locales con diferencias sustanciales entre ellas, los que deberían ser incluidos en una norma de presupuestos mínimos de fácil cumplimiento y aplicación en todo el territorio del país:

- Introducir el principio de economía circular como principio rector.
- Prohibir el uso de plásticos que produzcan efectos adversos para la salud humana y el medio ambiente al tiempo de su tratamiento final, disposición o transformación,
- Establecer un sistema de obligaciones extendidas aplicable a los productores de plásticos, envases y quienes utilizan envases plásticos para comercializar sus productos.
- Incorporar en la nueva legislación (LPM- Ley de Presupuestos Mínimos ), el concepto de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), como forma de involucrar en los sistemas de gestión a los iniciadores de ofrecer los productos plásticos en el mercado.

- Disponer importantes incentivos económicos para la reconversión de los procesos industriales para quienes: (i) reúsan residuos plásticos como materia prima en sus procesos, (ii) los utilizan o puedan utilizarlos como combustible para generar energía en instalaciones adecuadas a su uso, y (iii) los que reciclan residuos plásticos para convertirlos nuevamente en materia prima. De esta forma se estaría bajando a la práctica el principio de sustentabilidad contenido en la LPMN N° 25.675xix.
- Si bien las normas de las diferentes jurisdicciones locales del país poseen regulaciones similares para la gestión de residuos, debería unificar algunas definiciones básicas, como: grandes, medianos y pequeños generadores de residuos no peligrosos -entre los que se encuentran los plásticos-, disponiendo en forma clara, obligaciones simples de separación en origen para cada tipo de generador, sean éstos personas humanas o jurídicas.
- Uniformar definiciones técnicas, pudiendo tomarlas de las normas IRAM que resultan muy claras, y han sido dictadas teniendo en cuenta las particularidades que tiene nuestro país en la producción de plásticos, su uso y la generación de residuos. Se aclara que esto se refiere a definiciones básicas, porque cuestiones técnicas que sufren cambios constantes conforme los avances tecnológicos, deben estar en normas reglamentarias de carácter administrativo, menos rígidas que puedan ser modificadas con mayor facilidad que una ley.
- Capacitar a los educadores en los distintos niveles de enseñanza formal, para que incluyan el tema de segregación, reúso y tratamiento de plásticos en forma orgánica, simple y constante. También realizar campañas de comunicación informal sobre la materia para la población en general, todo conforme lo determinado por la LPMN N° 27.621 que regula la implementación de la educación ambiental integral en la República Argentina..
- Regular incentivos económicos reales, para los generadores de residuos plásticos, a los fines de que se realice la segregación conforme a los distintos tipos de plásticos y se cumpla la obligación de reducir hasta el punto de eliminar completamente el envío de residuos a relleno sanitario (cero landfill). Para ello, se sugiere introducir desgravaciones impositivas para quienes los comercialicen conforme el principio de economía circular, pudiendo mejorar lo ya establecido en la Resolución AFIP N° 2849/2010 modificada por la Resolución N° 2974/2010 AFIP entre otras.
- Establecer para los grandes y medianos generadores, lineamientos claros y sencillos para la presentación de sus planes de gestión de residuos plásticos, facilitando también de esta forma el análisis y control por parte de las autoridades de aplicación.
- Determinar requisitos mínimos de almacenamiento de residuos plásticos conforme sus características, considerando que se realice en lugares techados (en especial para aquéllos que poseen la capacidad de reúso, reciclado, o bien de causar contaminación al agua y al suelo por efecto de viento).
- Menos importante que los anteriores puntos, pero que ordenarían la gestión integral de los plásticos en el país, es unificar los colores de los contenedores y bolsas en los que se almacenan y transportan los residuos plásticos.
- La norma también debería establecer formas de disposición final para los plásticos

biodegradables, incluyendo pautas objetivas para la instalación de plantas de compostaje y otros sistemas posibles de disposición sustentable.

- Como conclusión final, se entiende que el instrumento legal que se sancione sobre la materia, debe:
- establecer como mandato obligatorio, la realización de campañas de concientización y capacitación a todos los sujetos involucrados en la gestión integral de los plásticos,
- lograr concretar consensos regionales para la gestión integral de los plásticos;
- adaptar instrumentos jurídicos, políticas sociales, definiciones técnicas y económicas a las realidades de las diferentes jurisdicciones locales con apoyo y guía del Estado Nacional, para que el contenido de la o las normas que se sancionen y dicten, puedan llegar a ser cumplidas en forma eficiente siguiendo el principio de subsidiariedad xxiv contenido en la LPMN N° 25.675,
- lograr simplificar y aunar criterios para que los gobernantes de todas las jurisdicciones puedan aplicar los sistemas de gestión de los residuos plásticos, internalizando en un tiempo breve la problemática para llegar a soluciones eficaces.
- Conforme todo lo antes expuesto, surge en forma clara que, si bien es el Estado a través de sus poderes, es quien tienen la responsabilidad de conducir este complejo proceso, sancionando, dictando, aplicando normas claras, y tomando firmes decisiones, también la sociedad a través de sus instituciones intermedias (uniones industriales, comerciales, sindicatos, organizaciones comunitarias, universidades, centros de investigación, etc.), deben coadyuvar a obtener resultados progresivos y continuos.
- Además se agrega, que sería de gran ayuda para incorporar medidas específicas eficientes y no cometer errores en las nuevas normas que puedan aprobarse sobre la materia, que trabajos de investigación puedan dimensionar el grado de cumplimiento de los marcos normativos sobre residuos no peligrosos valorizables que actualmente se encuentran en aplicación en las distintas jurisdicciones, a los fines de conocer: (i) los avances producidos, (ii) las virtudes y defectos de los instrumentos de gestión contenidos en los mismos, (iii) como así también las dificultades que poseen las distintas autoridades de aplicación para implementar la normativa actualmente vigente.

# ANEXO – Antecedentes resumidos de los autores



## Dra. Ing. Noemí E. Zaritzky

Ingeniera Química (Universidad Nacional de La Plata, UNLP, 1971). Doctora Ciencias Químicas (Universidad de Buenos Aires). Profesora Titular y actualmente Profesora Emérita de la Facultad de Ingeniería de la UNLP. Investigadora Superior de CONICET. Directora del Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA-UNLP-CONICET-CIC) (2003-2016).

**Áreas de investigación y desarrollo:** ingeniería de alimentos, biopolímeros y valorización de residuos de la industria alimentaria. Primera mujer nombrada miembro de la Academia Nacional de Ingeniería (ANI) y de la Academia de Ingeniería de Buenos Aires. Miembro de la Academia Nacional de Ciencias Exactas Físicas y Naturales (ANCEFN) y The World Academy of Sciences (TWAS). Integrante del Instituto del Ambiente de ANI. Cuenta con 274 publicaciones internacionales, 51 capítulos de libro, 7 patentes nacionales, 80 trabajos de transferencia al sector productivo. Ha dirigido numerosos Proyectos de investigación y desarrollo y de innovación con la industria. Profesora e Investigadora Invitada en Wisconsin University (USA), Universidad Londrina (Brasil) e ICTAN (España). Dirigió/codirigió 36 tesis doctorales. Fue Presidente del Comité Científico del 11th World Congress of Chemical Engineering (2023). Ha dictado 150 conferencias en eventos científicos nacionales e internacionales. Es miembro del Advisory Committee (MAC) de TWAS in Engineering Sciences. Ha sido destacada como uno de los científicos más citados a nivel mundial (2020, en la prestigiosa revista 'PLoS Biology'), figurando entre el 2% de los investigadores con mayor número de citas a nivel internacional.

**Algunos premios recibidos:** Distinción Investigador de la Nación Argentina (2015); Premio Bernardo Houssay Trayectoria (2015) (Área Ingenierías, Arquitectura, Informática), Premio Fundación Bunge Y Born 2015 en Ingeniería de Procesos (Primera Mujer ganadora de este Premio); Premio Consagración de Academia Nacional de Ingeniería (2006), Premio Consagración de la Academia Nacional de Ciencias Exactas Físicas y Naturales (2010); Premio International TWAS 2019 in Engineering Sciences; Premio Senior Moulton Medal Award, Reino Unido (2021); PREMIO ADA BYRON 2021 a la Mujer Tecnóloga en Argentina; Diploma de Honor y PREMIO KONEX Platino 2023 en Ciencias Agrarias y Alimentos.



## Ing. Hipólito A. Choren

Ing. Químico Universidad Tecnológica Nacional (1971). Posgrado: Uso Industrial de Radioisótopos e Ingeniería Nuclear/Reactores (CNEA/UBA-FI 1972/1973). Cursos de especialización: generación energía eléctrica convencional y renovable. Estudios Impacto Ambiental / Higiene y Seguridad. Auditor Ambiental: TÜV Akademie – Munich-Alemania. Certificados Ambientales: Instituto del Banco Mundial, Facultad Técnica Fachhochschule Aalen – Alemania y Bureau Veritas.

**Actividad universitaria:** Profesor Titular: UTN Ing. Química. UCA Carrera Ing. Ambiental. Director Ing. Química UTN/FRA, creó Grupo Gestión Ambiental, coordinó EIA en general y en CNEA, de Instalaciones Nucleares, Mina de Uranio y del Reactor CAREM, en construcción.

**Dictado Cursos de Posgrado/Maestrías:** sobre energía y medio ambiente en universidades e institutos del país y de Ecuador y Perú. Investigación: a) Uso industrial de Radioisótopos b) Autor, Cálculo Poder Calorífico del Uranio en Primer Ciclo del Combustible, participó y revisó CNEA, seleccionado por Congreso Mundial de Energía, presentado en Conferencia Mundial de Energía- Madrid –1992. Publicaciones: Coautor en libros sobre energía y medio ambiente y publicación de informes en revistas especializadas y congresos. Presentaciones en reuniones nacionales e internacionales: a) Conferencia Mundial de la Energía (España 1992). b) Banco Mundial - E 7 - París - 1998 Global Electricity After Kyoto. c) COP 10 (Bs.As. 2004) d) en Argentina y países Latinoamericanos (reuniones CIER) y en Francia (reuniones TOTAL).

**Actividad Profesional:** centrales generación energía eléctrica CIAE y SEGBA, asesor Secretaría Energía de la Nación (1986/1992). Gerente Central Puerto S.A. (2017 retiro por jubilación). Coordinador Ambiental AGEERA (1994 a 2017). Contratado como Asesor Local Ambiental de CFI/Grupo Banco Mundial. Perito Ambiental Judicial de Juzgado Federal.

Actualmente es Asesor en Consultora especializada en grandes obras de energía eléctrica y Académico de la Academia Nacional de Ingeniería e Integrante del Instituto del Ambiente.



### Lic. Juan José Paladino

Licenciado en Geología - Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, septiembre de 1975. *Especialidad:* Hidrogeología. Medio Ambiente.

**Actividad Pública:** *Profesional:* Dirección Provincial de Obras Sanitarias de la Provincia de Buenos Aires; Instituto Nacional de Ciencia y Técnicas Hídricas; Consejo Federal de Inversiones; *Actividad Técnica Política:* Administración General de Obras Sanitarias de la Provincia de Buenos Aires (Director de Servicios Especiales); Dirección Provincial de Medio Ambiente del Ministerio de Salud y Acción Social (Director de Control Ambiental); Comisión de Ecología y Medio Ambiente de la HCDPBA (Asesor); Secretaría de Política Ambiental de PBA (Jefe de Gabinete de Asesores) y Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (Coordinador Ejecutivo de Fiscalización Ambiental)

**Actividad Privada:** Dirección Técnica, Asesoramiento y Trabajos de Consultoría en Empresas de Saneamiento. Estudios de Fuentes, y Relevamientos Hidrogeológicos. Consultoría en temas ambientales, Auditorias, EsIA, de Pasivos Ambientales, de Sustentabilidad ambiental, Peritajes, Asesoramiento, etc.

**Actividad Académica:** Maestría de Ingeniería Ambiental, UTN, FRLP. Seminarios “Gestión de Residuos Sólidos y Peligrosos”, “Evaluación de Impacto Ambiental” “Integrador Final” (Profesor Titular). Jurado y Co-director de Tesis. *Participación como panelista, expositor, organizador, moderador en más de 120 eventos* (Conferencias, Charlas-Debates, Jornadas, Seminarios, Congresos, Simposios, Talleres, Ciclos, Mesas Redondas, etc.), sobre temas referente a los Recursos Hídricos y Ambiente.

Publicaciones editadas e inéditas varias, sobre temas hidrogeológicos y ambientales.

**Otras Actividades:** Miembro del Instituto del Ambiente de la Academia Nacional de Ingeniería. Asesor en temas ambientales de la Confederación Económica de la Provincia de Buenos Aires. Ex Presidente y actual Miembro del Tribunal de Disciplina del Consejo Profesional de Ciencias Naturales de la Provincia de Buenos Aires.

**Dra. Norma Sbarbati Nudelman**

Ex Profesora Titular Plenaria en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, (FCEN) de la UBA. Actualmente es Investigadora Superior del CONICET, Miembro Titular de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ANCEFN), y presidente de la Comisión de Educación en Ciencias (ANCEFN). Miembro Titular del Instituto del Ambiente de la Academia Nacional de Ingeniería (ANI). Experta argentina (designado por Cancillería) en la división CONTAMINANTES QUIMICOS de Naciones Unidas (UNEP). Presidente del Programa de educación en Ciencias de IANAS, (Red Interamericana de academias de ciencias: desde Canadá hasta Argentina), y Representante por las Américas en el Global Activity Council del Inter-Academic Panel (IAP). Miembro titular de GenderInSITE (Género en Ciencia, Innovación, Tecnología e Ingeniería).

Ha realizado estudios post-doctorales en el M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology, USA), en la Universidad de California (USA) y en la Universidad de East Anglia (Norwich, Inglaterra). Ha sido profesor visitante en numerosas universidades de Europa, América y Asia. Es autora de 5 libros y varios capítulos de libros, de más de 230 trabajos de investigación originales en publicaciones científicas de difusión internacional, más de 400 comunicaciones en congresos nacionales e internacionales y director de 28 tesis de Doctorado ya aprobadas.

Ha recibido numerosos premios nacionales y del exterior; entre ellos el de “Investigador distinguido de la Nación”, (otorgado por primera vez a una mujer , MINCYT 2011), el de CLARIN-ZURICH por su trayectoria en educación en ciencias (2012), el de Investigador destacado por su trayectoria en Investigación y Educación en Química (Asociación Química Argentina, 2013), el de FUNPRECIT por su “Trayectoria en Investigación Científica y Educación” (2017); el CLAFQO Award (2022) for her dedication and commitment in the promotion of Phys. Org. Chem. in Latin America” y el Premio J.J. J. Kyle de la Asociación Química Argentina, (2023).

Autora del primer libro en el mundo sobre “Estabilidad de Medicamentos”, del primero en lengua hispana sobre “Química Verde” y de “Residuos Plásticos: Su Impacto ambiental y la Economía Circular” (ANCEFN 2022), entre otros. Ha dictado numerosos cursos de posgrado (y lo hace en la actualidad) sobre temas de su especialidad y es Directora del Programa “Educación en Ciencias por Indagación” de la ANCEFN.



### **Dra. María Marcela Flores**

Abogada y escribana de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Master en Derecho Ambiental, Universidad de San Sebastián, España y Tribunal de Justicia de la Unión Europea. Especialización en Derecho Ambiental y Recursos Naturales, Universidad de Oregón, USA (beca) y Universidad Austral (Argentina). Curso de Especialización en Solución Internacional de Litigios respecto a los recursos gas, petróleo, energía eléctrica y minería, IDLI, Roma, Italia (beca del Gobierno Suizo). Diplomado Universitario en Compliance, Ética Corporativa y Dirección de Procesos de Integridad. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad de Mendoza, Argentina. Certificado como Leadership Professional in Ethics & Compliance Internacional LPEC emitido por ECI (Ethics & Compliance Initiative) y el IAE Business School, Universidad Austral. Doctorando, UNLP.

Miembro del Instituto del Ambiente de la Academia Nacional de Ingeniería desde el año 2020. Profesora de “Análisis Económico del Derecho Ambiental” en la Maestría de Economía y Derecho Ambiental de la UBA, de “Derecho Ambiental I” en la Maestría de Gestión Ambiental en el ITBA y de “Gestión Ambiental Legal en la Actividad Minera” en la Diplomatura en Gestión Minera de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Austral

Fue consultora y especialista para Programas del BID, BIRF, PNUD y GEFT. Trabajo en redacción de normativa y digestos normativos para nación, provincias argentinas y el GCBA. Desde hace más de diez años se desempeña como consultor en el ámbito privado.

Elegida en varias oportunidades por sus pares en la publicación de “The Best Lawyers”, y destacada en la revista “Chambers and Partners” por su ejercicio profesional y actividad académica. Expositora en congresos y seminarios nacionales e internacionales. Es autora y coautora de artículos publicados en el Suplemento Ambiental de la revista La Ley, en Jurisprudencia Argentina, Lexis Nexis, etc. Autora de capítulos de libros publicados por la Fundación del Banco Mundial, PNUD- GEFT, editorial Praia, UNLP, Ciudad Argentina, EUCASA y editorial La Ley entre otros.



INSTITUTO DEL  
AMBIENTE

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

Av. Pte. Manuel Quintana 585, 3° Piso – C1129ABB  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires – Argentina.  
acading@gmail.com; acading.arg@gmail.com  
Sitio Web: <https://acading.org.ar>  
Twitter: @aningenieria  
Instagram: @aningenieria

[YouTube: https://youtube.com/channel/UCVdSMNFJE0GuO8g6KHxE3nQ](https://youtube.com/channel/UCVdSMNFJE0GuO8g6KHxE3nQ)