



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CHILE



Productos biodegradables y compostables para  
films de envases, empaques y embalajes

## ASPECTOS TÉCNICOS Y NORMATIVOS

César Sáez-Navarrete, Ph.D.

csaezn@uc.cl; lerr@dictuc.cl

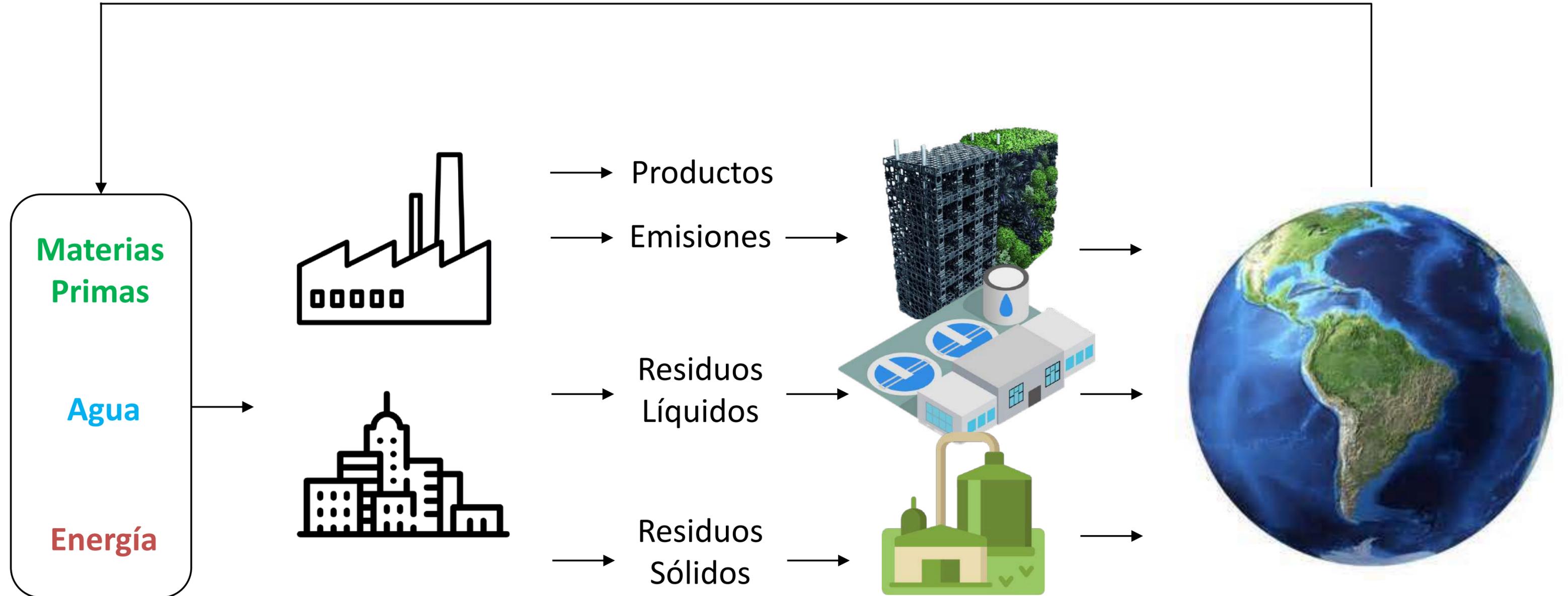
1. Laboratorio de Energías Renovables y Residuos, LERR UC, Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile
2. Centro de Energía, CE UC
3. Centro de Investigación en Nanotecnología y Materiales Avanzados, CIEN UC
4. Instituto Milenio en Amoníaco Verde como Vector Energético, MIGA



# Temario

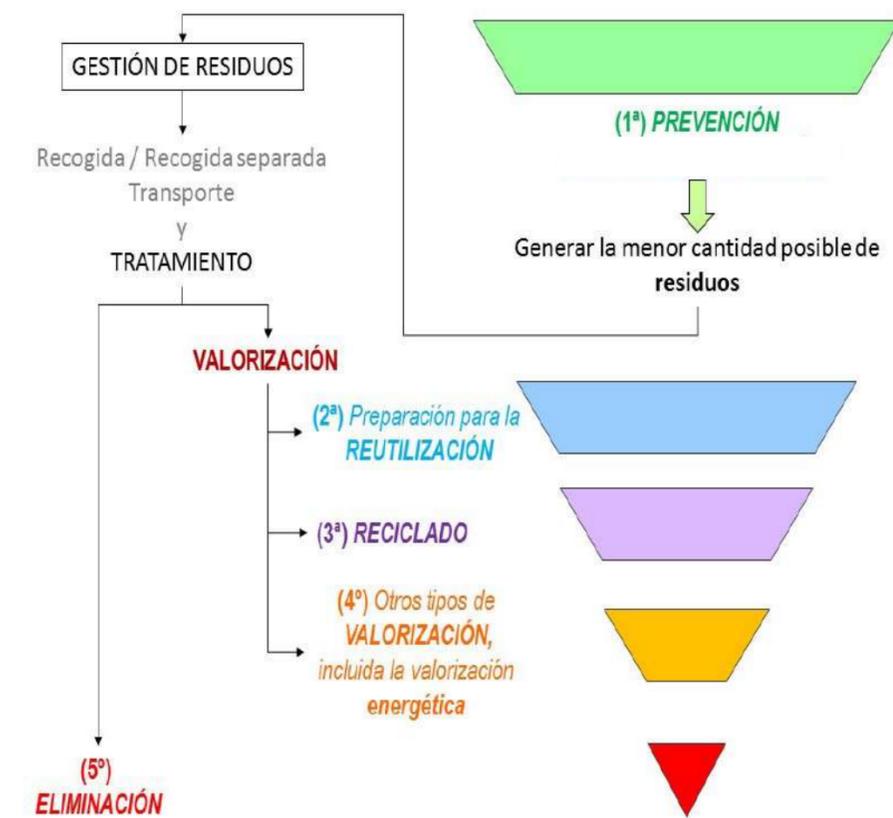
1. Capacidad de autodepuración de la Tierra y desarrollo tecnologías innovadoras de prevención y control de la contaminación
2. Tecnologías para la valorización de envases, empaques y embalajes
3. Producción de residuos y materiales reciclables en Chile
4. Plásticos biodegradables y compostables
5. Impactos ambientales comparativos Plásticos vs. Bioplásticos por enfoque de ciclo de vida
6. Ensayos realizados a films plásticos en Chile

# Capacidad de autodepuración de la Tierra



# Tecnologías para la valorización de empaques y embalajes

Tecnología / enfoque o metodología	Proceso, operación Unitaria, consideraciones	Aplicaciones	Ventajas
<b>Ecodiseño</b>	Integración de consideraciones ambientales en el diseño de productos y procesos para minimizar el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida	Todos los tipos de envases y embalajes	Reduce el impacto ambiental; facilita el reciclaje y la reutilización; mejora la eficiencia de recursos
<b>Reciclaje Mecánico</b>	Trituración, lavado, y peletización	HPDE, PET	Menor costo energético; aplicable a una variedad de plásticos además de PET y HPDE
<b>Desarrollo de recubrimientos y multicapas</b>	Aplicación de recubrimientos y multicapas a envases y embalajes para mejorar sus propiedades de barrera y mejorar su vida útil	Envases de metal, papel y cartón y plásticos	Prolonga la vida útil de los envases; mejora la protección del contenido
<b>Tecnologías de Extrusión y Moldeo</b>	Procesos de extrusión y moldeo para convertir residuos plásticos en productos nuevos, como perfiles de construcción y mobiliario urbano (madera plástica)	Plásticos reciclados	Alta versatilidad en producción de nuevos productos; contribuye a la economía circular
<b>Tecnologías de Compostaje / Digestión Anaeróbica</b>	Transformación biológica de residuos orgánicos biodegradables en compost o digestato a través de procesos aeróbicos o anaeróbicos	Envases y embalajes biodegradables y compostables	Reduce residuos en rellenos sanitarios; produce elementos valiosos para la fertilidad de los suelos
<b>Bio-Transformación</b>	Descomposición enzimática de plásticos biodegradables en compuestos orgánicos simples. Diseño de enzimas y microorganismos degradadores	PLA, PHB (avances en HPDE)	Emula procesos naturales sostenibles (en desarrollo)
<b>Valorización Energética</b>	Incineración con recuperación de energía, gasificación	Residuos plásticos no reciclables	Reducción del volumen de residuos; generación de energía, H <sub>2</sub> y gas de síntesis (syngas)
	Gasificación por plasma para convertir residuos en gas de síntesis (syngas) y escoria inerte	Residuos plásticos mixtos y otros residuos	Alta eficiencia energética; producción de syngas utilizable como fuente de energía, H <sub>2</sub>



Pirámide invertida de la jerarquía de residuos

# Materiales Reciclables

## Papel



Celulosa + Agua + Calor

1,5 a 3,0 Ton CO<sub>2eq</sub>/Ton Papel virgen

0,5 a 1,5 Ton CO<sub>2eq</sub>/Ton Papel reciclado

### Ventajas

- Biodegradable

### Desventajas

- 20% rendimiento respecto de la madera verde
- 25% de pérdidas de celulosa al reciclar papel
- Las plantaciones de bosques pueden no ser sostenibles
- Usualmente requieren gran cantidad de agua; 250 m<sup>3</sup>/Ton

# Materiales Reciclables

## Plásticos



### Ventajas

- Muy barato
- Muy versátil
- Maleable, extruible, moldeable
- Muy útil en agricultura
- Muy útil en alimentos

### Desventajas

- Deriva del petróleo
- Cinéticas de biodegradación en extremo lentas
- Produce microplásticos
- Impacta los ecosistemas al confundirse con fuentes de alimentos

Derivados del petróleo + Calor

3,5 a 9,0 Ton CO<sub>2eq</sub>/Ton Plástico virgen

1,8 a 4,5 Ton CO<sub>2eq</sub>/Ton Plástico reciclado

# Materiales Reciclables

## Vidrio



### Ventajas

Barato  
Inerte (relativamente)  
Esterilizable  
Reciclable 100%  
Fácil de limpiar  
Excelente contenedor de alimentos

### Desventajas

Frágil  
Necesita templado para resistir cambios de temperatura  
Se debe limpiar para reciclarse efectivamente

Arena de Sílice + Carbonato de Sodio + Caliza + Calor

0,6 a 0,8 Ton CO<sub>2eq</sub>/Ton vidrio virgen

0,3 a 0,5 Ton CO<sub>2eq</sub>/Ton vidrio reciclado

# Materiales Reciclables

## Aluminio



Bauxita  $\text{Al}_x(\text{OH})_{3-2x} + \text{Calor}$

10 a 20 Ton  $\text{CO}_{2\text{eq}}$ /Ton  $\text{Al}^0$  virgen

2 a 8 Ton  $\text{CO}_{2\text{eq}}$ /Ton  $\text{Al}^0$  reciclado

### Ventajas

- Barato
- Maleable
- Bastante inerte
- Muy buen reflectante
- Fácil de limpiar
- Excelente contenedor de alimentos

### Desventajas

- Depende de la extracción de Bauxita
- Minas de Bauxita suelen estar en zonas selváticas
- Requiere energía para molienda, oxidación y fusión para  $\text{Al}^0$

# Ejemplo comparativo

<b>Tipo de bolsa</b>	<b>Huella de agua (Ton agua/Ton producto final)</b>	<b>Huella de carbono (Ton CO<sub>2e</sub>/Ton producto final)</b>	<b>Huella de energía (KWh/Ton producto final)</b>
Bolsas de polietileno HPDE	2 - 4	1.5 - 3.5	150 - 300
Bolsas compostables	1 - 3	0.8 - 2.5	100 - 250
Bolsas de poli ácido láctico (PLA)	1 - 2	1.0 - 2.5	120 - 280
Bolsas de papel kraft	2 - 5	0.5 - 1.5	80 - 200

# Países que más reciclan en 2024



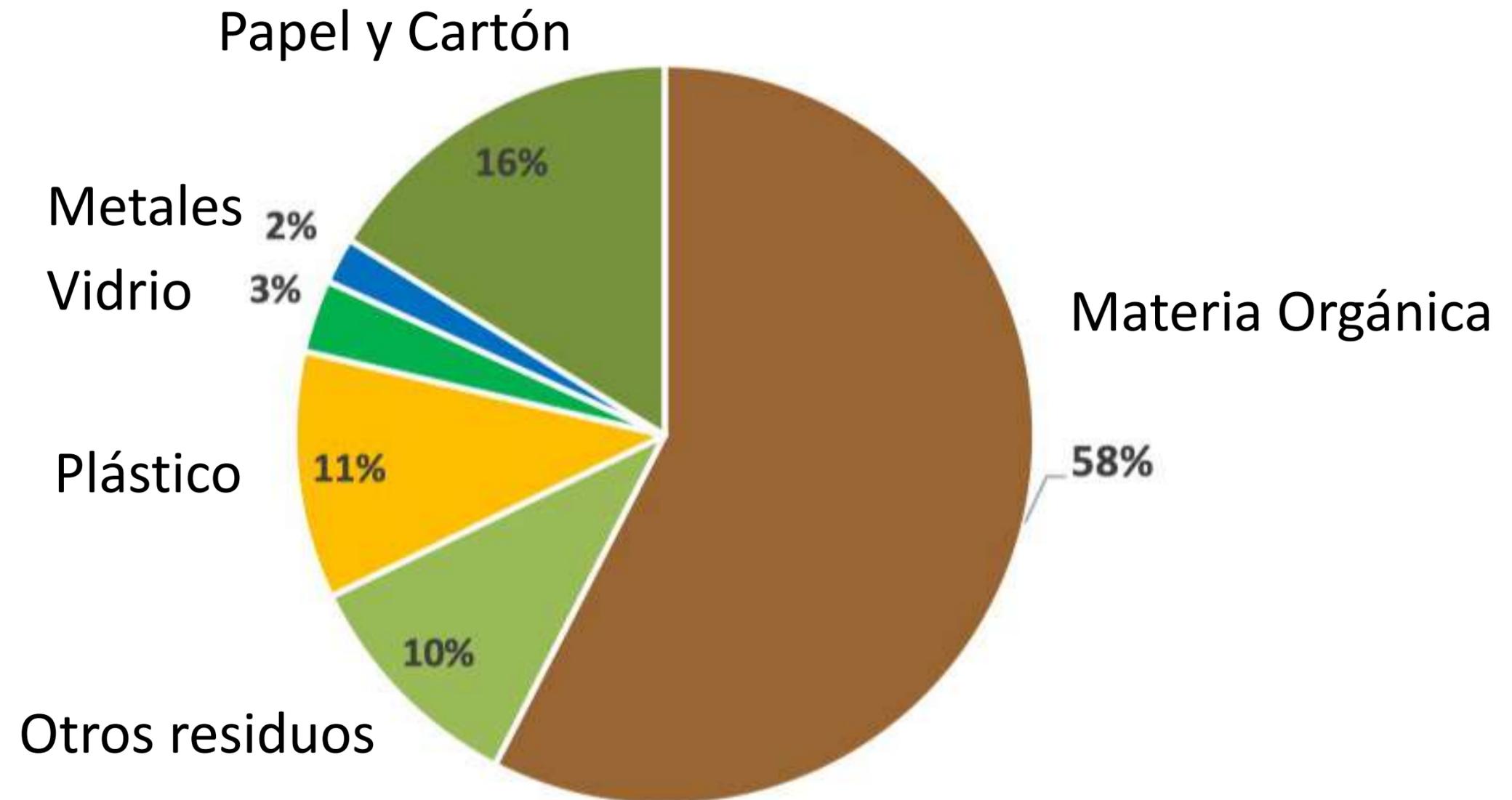
País	Tasa de Reciclaje (%)
Alemania	71.1
Austria	62.2
Corea del Sur	60
Gales	65.2
Suiza	50

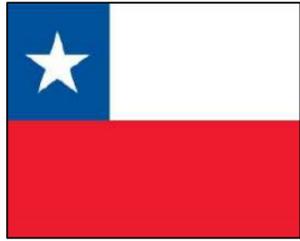
Chile (2024): 12%

# Situación actual en Chile con respecto a materiales reciclables presentes en los residuos sólidos urbanos

RSD (TON/AÑO)  
(2022) aprox.

7.700.000





# Normas y Reglamentos Relacionados con Empaques y Embalajes

Norma/Reglamento	Descripción	Fecha de Implementación	Ámbito de aplicación	Estado actual de aplicación o cumplimiento
Ley 21.100	Prohíbe la entrega de bolsas plásticas en el comercio	2018	Comercio minorista y mayorista en todo el país	Cumplimiento generalizado, con pocas excepciones
DS N° 2/2010 (MMA)	Reglamento sobre reciclaje de envases y embalajes	2010	Todo tipo de envases y embalajes	Implementación inicial con avances en programas de reciclaje
Ley REP (Ley 20.920)	Establece un marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y el fomento al reciclaje	2016	Productos prioritarios, incluyendo envases y embalajes	Implementación progresiva, con metas establecidas para los productores
DS N° 12/2020 (MMA)	Reglamenta la obligación de reciclaje de envases y embalajes domiciliarios	2020	Productores y gestores de residuos	En fase de implementación, con monitoreo y ajustes en curso
Ley 21.368	Prohíbe los utensilios plásticos de un solo uso en establecimientos de expendio de alimentos	2021	Restaurantes, cafeterías, y servicios de alimentos	Implementación en curso, con fiscalización activa en comercios
DS N° 5/2021 (MMA)	Reglamento sobre plásticos de un solo uso y botellas plásticas desechables	2021	Comercio de alimentos y bebidas	Aplicación en proceso, con campañas de concientización y medidas de cumplimiento

Producto Prioritario	Fecha de Vigencia	Estado Actual
Aceites Lubricantes	2022	Reglamento vigente y en fase de implementación
Aparatos Eléctricos y Electrónicos	2022	Reglamento vigente, con implementación progresiva
Pilas y Baterías	2022	Reglamento vigente y en fase de implementación
Envases y Embalajes	2020	Reglamento vigente, con metas de recolección y reciclaje en implementación
Neumáticos	2022	Reglamento vigente, con sistemas de gestión establecidos
Baterías de Automóviles	Pendiente	Reglamento aún no implementado, en fase de desarrollo y consulta

Material	Meta 2023	Meta 2025	Meta 2030
Plástico	12%	15%	30%
Vidrio	55%	60%	65%
Metales	35%	40%	45%
Papel y Cartón	70%	75%	80%

# Normas y Reglamentos relacionados



Ministerio del Medio Ambiente

Inicio Hoja de Ruta Ley REP ▾ Focos Sectoriales ▾ Comunas Circulares

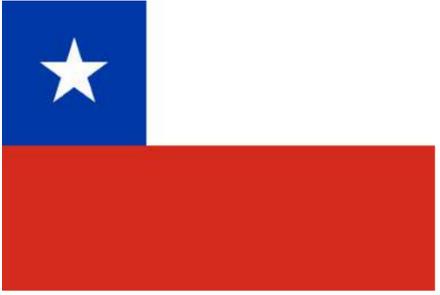
## Ley marco 20.920 para la gestión de residuos

- Neumáticos
- Envases y Embalajes
- Aceite Lubricantes
- Aparatos eléctricos y electrónicos y Pilas
- Baterías



**LEY 21100**  | **PROHÍBE LA ENTREGA DE BOLSAS PLÁSTICAS DE COMERCIO EN TODO EL TERRITORIO NACIONAL**

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE



# ENRO



**PREVENCIÓN Y  
SEPARACIÓN DE  
RESIDUOS EN  
ORIGEN**

**26%**   
**ENVASES Y  
EMBALAJES**

Ley de Responsabilidad  
Extendida del Productor



Planta de  
reciclaje

**58%**   
**ORGÁNICO**

Estrategia Nacional  
de Residuos Orgánicos



Compostera /  
Vermicompostera



Planta de  
compostaje



Planta de digestión  
anaeróbica

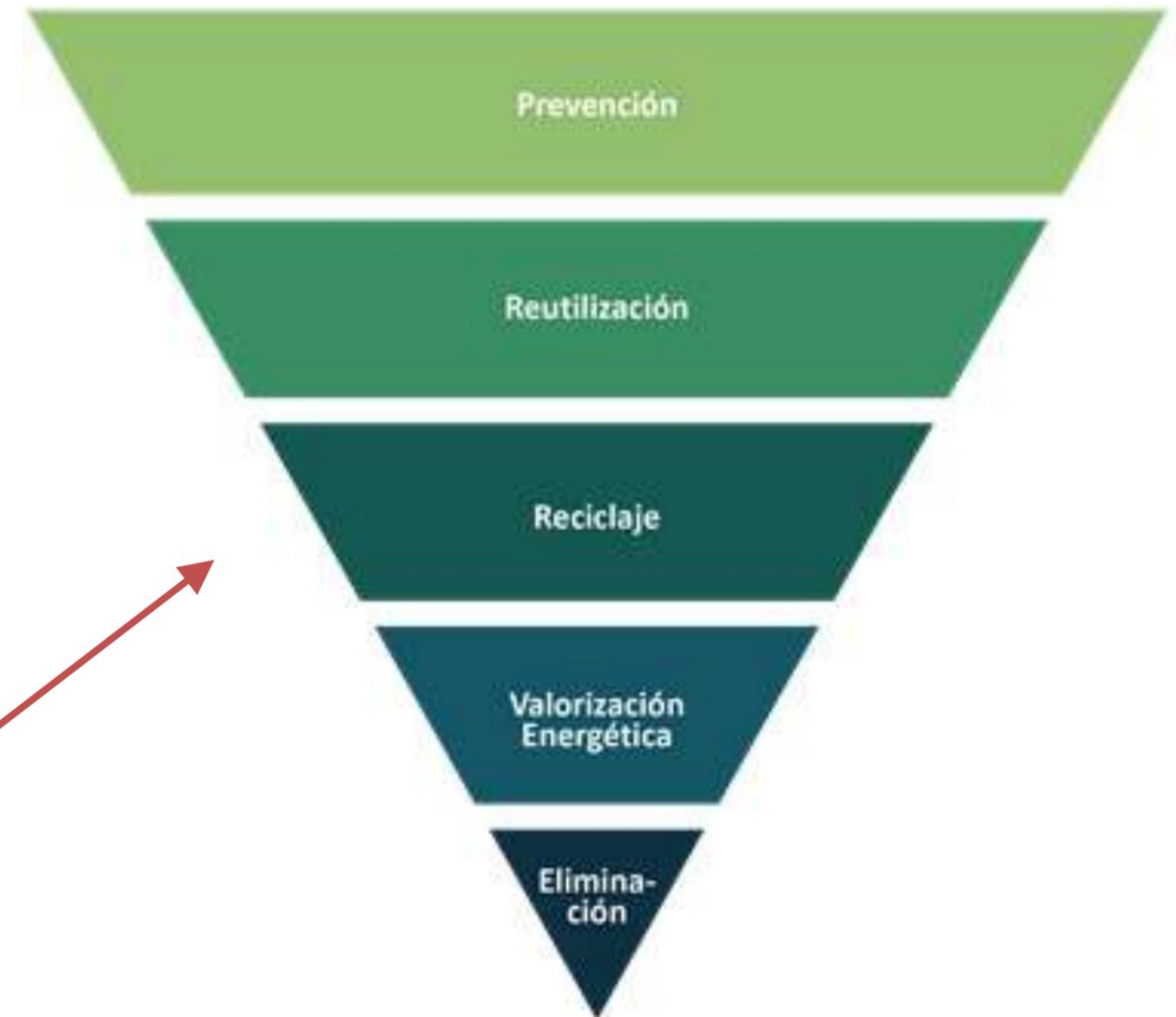
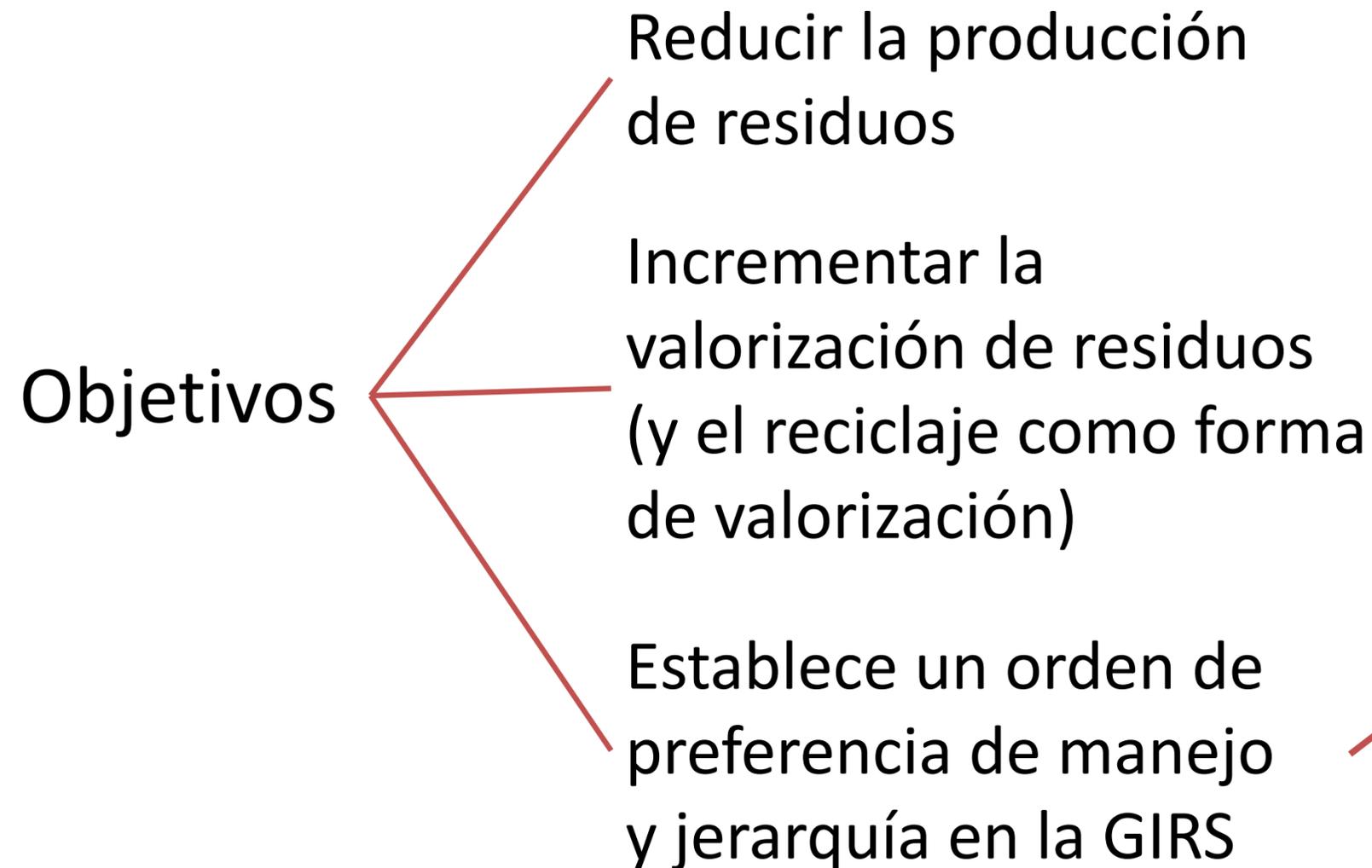
**16%**   
**DESCARTABLE**



Relleno  
sanitario

# La ley de Fomento al Reciclaje (Ley REP, 20920, 1º de Junio de 2016)

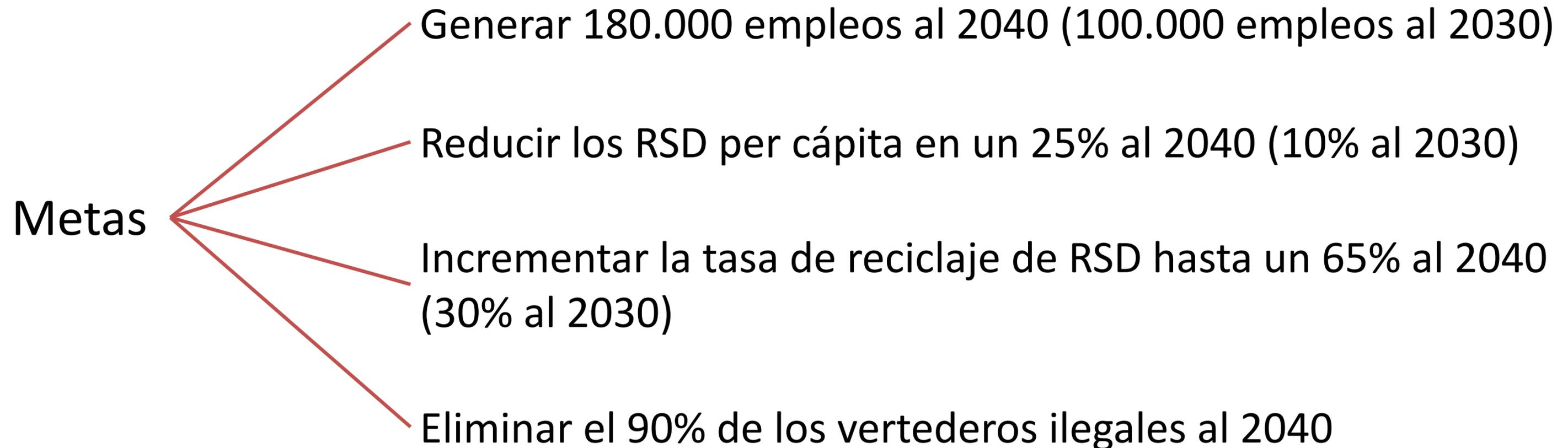
Establece un marco para la **Gestión de Residuos**, la **Responsabilidad Extendida del Productor** y el **Fomento al Reciclaje**



# Hoja de Ruta para Economía Circular EC - Chile 2040

La **Economía Circular**:

- (1) Mantiene el valor de los productos, materiales o recursos en la economía el mayor tiempo posible
- (2) Minimiza la generación de residuos



# Tipos de Plásticos

Basados en Biomasa

2,05 mill. de ton (2017)

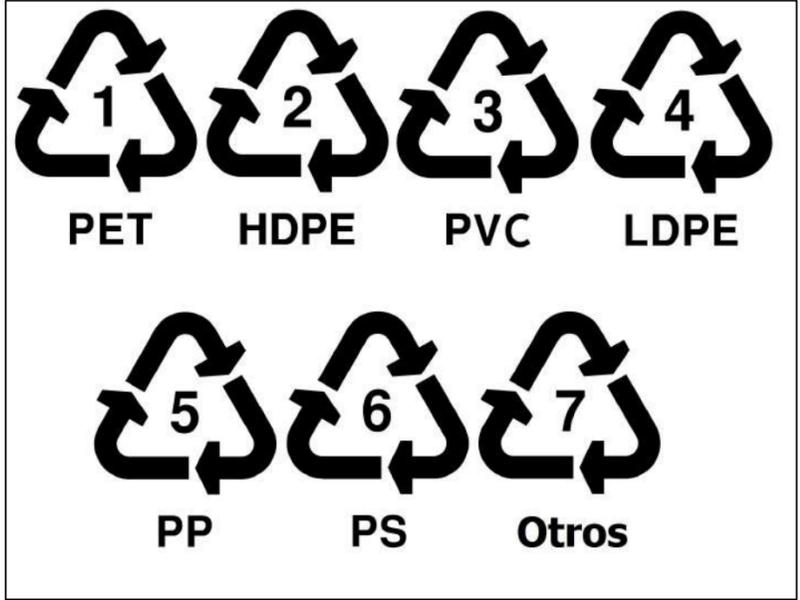
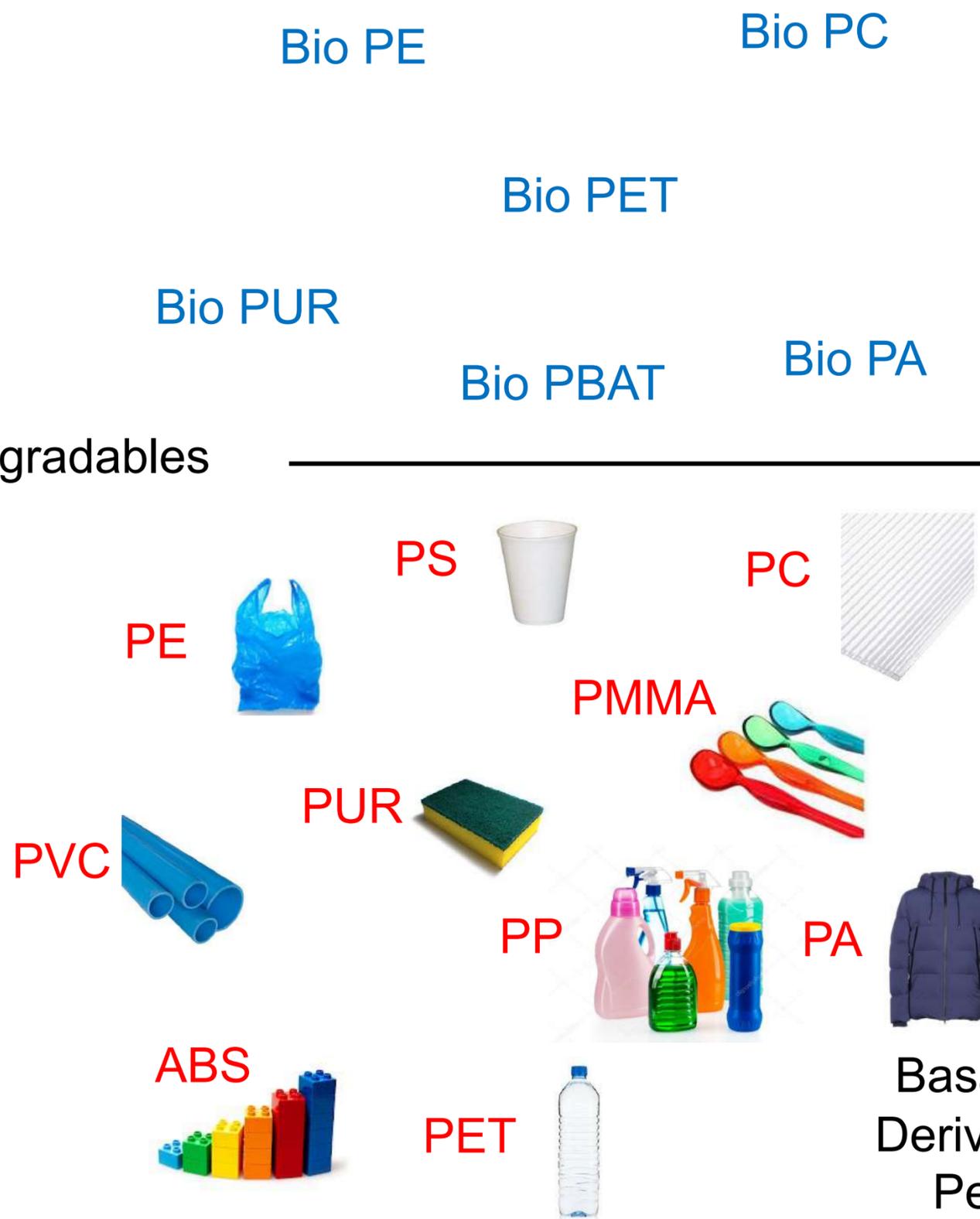
2,44 mill. de ton (2022)

No Biodegradables

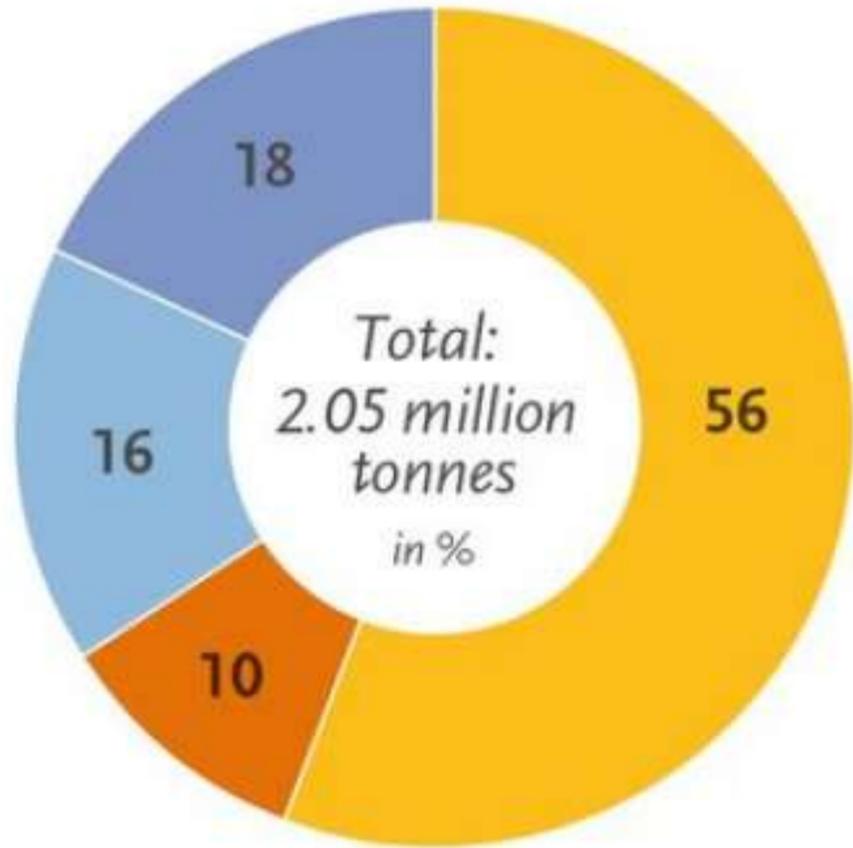
Biodegradables

300 mill. de ton (2015)

700 mill. de ton (2030)

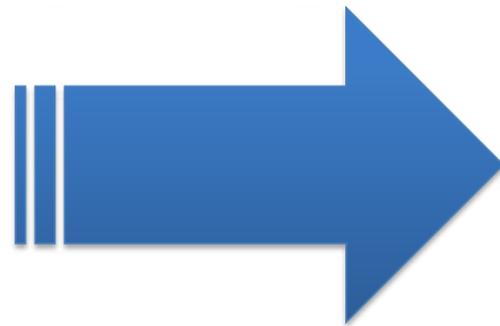


2017

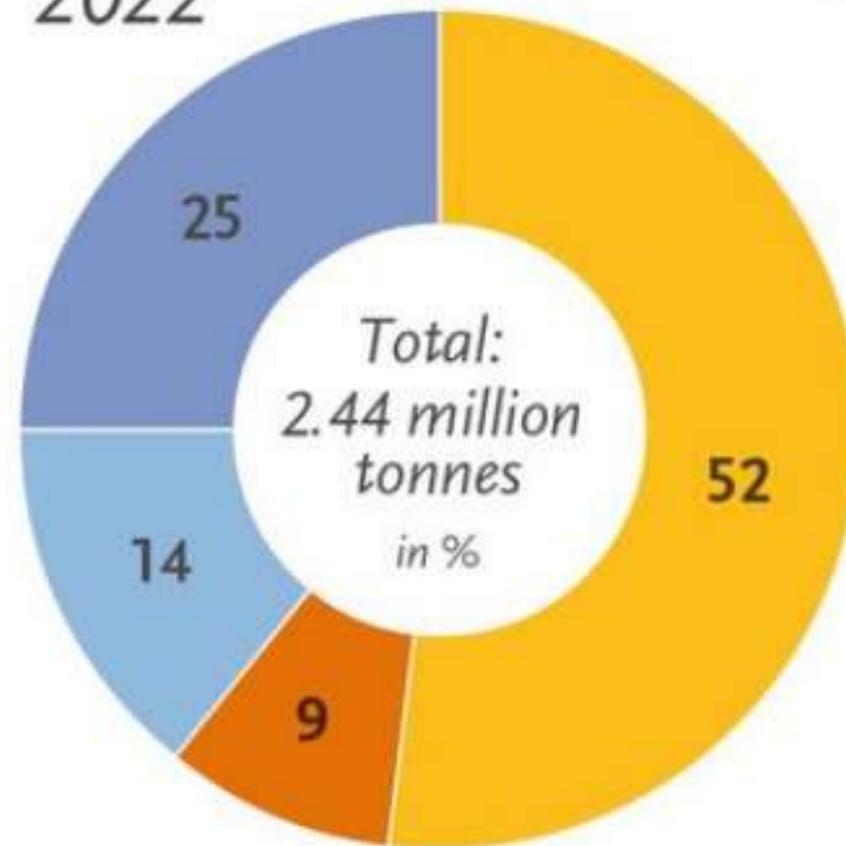


- Asia
- South America
- North America
- Europe
- Australia/Oceania\*

# Producción Global de Bioplásticos



2022



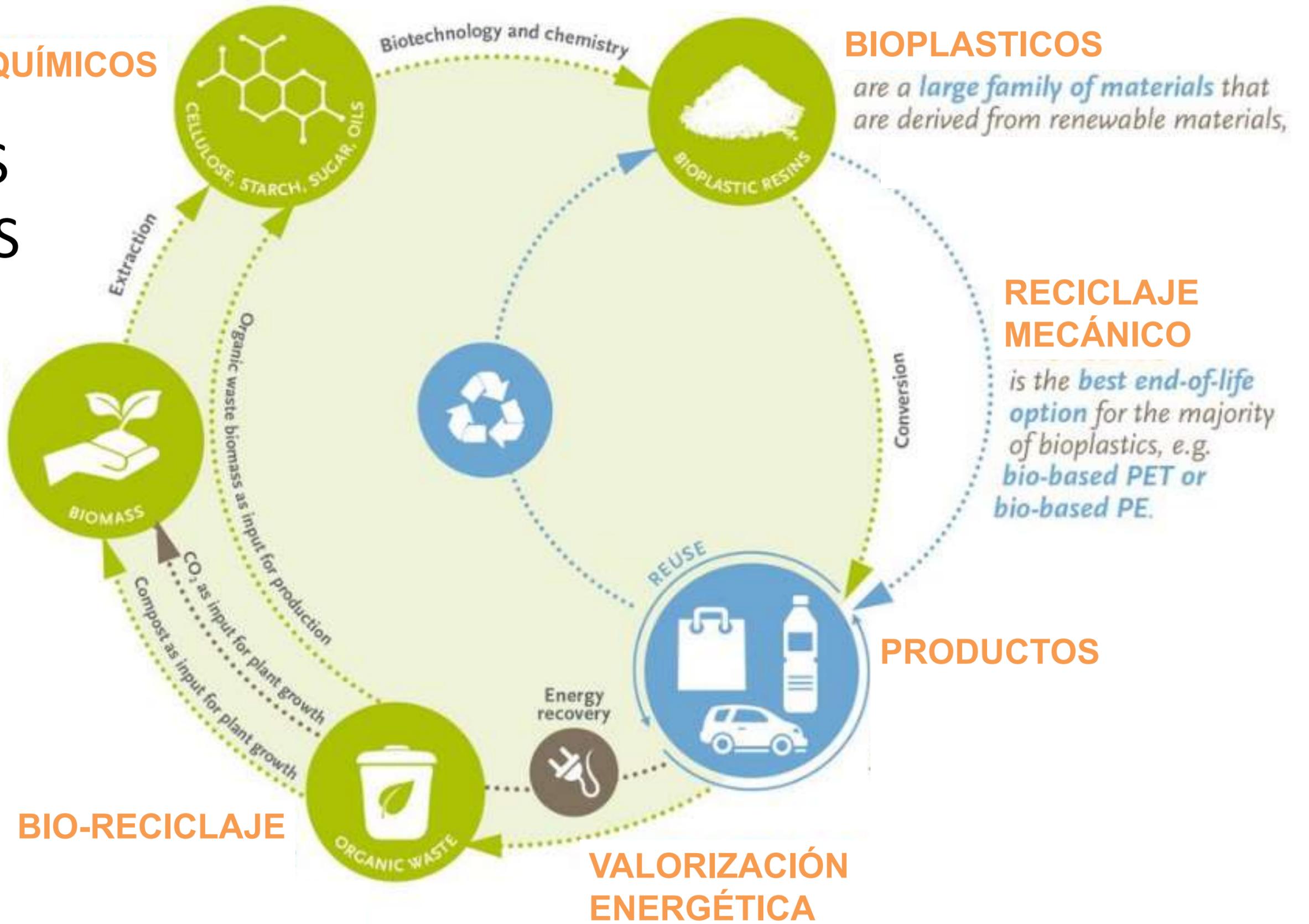
\* Production in Australia/Oceania is a small proportion relative to the global production capacity.

- Asia
- South America
- North America
- Europe
- Australia/Oceania\*

# CICLO DE LOS BIOPLASTICOS

## BIO-BLOQUES QUÍMICOS

## PRODUCCIÓN DE BIOMASA



# Precios de Plásticos y Bioplásticos

Plástico / Bioplástico	Costo resina base
HPDE	Bajo (1-1,5 US\$/kg)
LPDE	Bajo
PS	Bajo
PVC	Bajo
PP	Bajo
PBAT	Medio (2,5-4 US\$/kg)
PLA	Medio
PHA	Alto (5-6,5 US\$/kg)
PHB	Alto
PCL	Alto
PGA	Alto



# Impactos Ambientales: Enfoque de Ciclo de Vida (1 de 3)



	Materia Prima	Producción	Distribución y venta	Uso y consumo	Fin de vida
<b>Plásticos Tradicionales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agotamiento de Recursos Fósiles</li> <li>• Emisiones de GEI</li> <li>• Contaminación de Suelos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones de GEI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones de GEI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones de GEI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de microplásticos (Toxicidad humana)</li> <li>• Pérdida de Biodiversidad</li> </ul>
<b>Bioplásticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de estrés hídrico</li> <li>• Eutrofización</li> <li>• Uso de Suelo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones de GEI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones de GEI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones de GEI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones de GEI</li> <li>• Pérdida de Biodiversidad</li> </ul>

# Impactos Ambientales: Enfoque de Ciclo de Vida (2 de 3)



Plásticos Tradicionales



No se pueden comparar directamente

Bioplásticos

Los bioplásticos tienen mayores oportunidades para generar menos impactos ambientales.



Para ambos casos va a depender de la distancia que debe recorrer desde la fuente de origen.



Va a depender del tipo de disposición y gestión final.

Potencialmente los bioplásticos pueden generar menos impactos ambientales.

# Impactos Ambientales: Enfoque de Ciclo de Vida (3 de 3)

## Materias Primas

### Producción de Biomasa

- Al extraer carbono a través de recursos fósiles se aumenta el carbono en la atmósfera.
- En cambio, la producción de biomasa forma parte de un ciclo de carbono que ya existe

### Extracción de Petróleo

## Fin de Vida

### Compostaje industrial

- Para asegurar la biodegradabilidad de los bioplásticos se requieren determinadas condiciones de temperatura, humedad y otros factores de entorno.
- La biodegradabilidad no sucede de manera acelerada en condiciones naturales, por tanto, se requiere gestión y disposición en compostaje industrial.

### Reciclaje Mecánico

- El reciclaje mecánico sólo permite recuperar los materiales una cantidad finita de veces. Se pierden propiedades después de varios ciclos.

# Ensayos realizados a films plásticos en Chile

Laboratorio de Energías Renovables y Residuos	Ensayos	Norma referencia
Biodegradabilidad Aeróbica	Ensayo que busca evaluar la capacidad de materiales plásticos (polímeros) para biodegradarse en un ambiente que simula al compostaje industrial o controlado. Las mediciones y análisis final de los resultados se guían por la producción de elementos gaseosos y pérdida de masa, producido por la actividad microbiana proveniente del compost.	ISO14855 / ASTM D5338 / ASTM D5988 / NCh3327 Degradación 90% en 6 meses
Biodegradabilidad Anaeróbica	Ensayo realizado a materiales plásticos (polímeros) para medir la biodegradabilidad bajo condiciones sin presencia de oxígeno en un lodo anaeróbico. La degradación del material producto de la actividad microbiana presente en los lodos se cuantifica a través de la generación de biogás, valores que son reportados y analizados para establecer si el material cumple con el concepto de biodegradabilidad en zonas anaeróbicas.	ISO14853 / NCh 3332 Degradación de al menos 60% respecto de referencia (celulosa)
Ecotoxicidad	Ensayo realizado con el compost del ensayo de Biodegradabilidad Aeróbica, bajo las directrices de la norma, con el objetivo de determinar la posible existencia de toxicidad de las sustancias químicas remanentes del proceso de compostaje. La respuesta de la germinación de las semillas evalúa la toxicidad de los materiales previamente compostados según un análisis estadístico específico .	OECD 208 /NCh 3346
Biodegradabilidad "Todo Ambiente"	Ensayo que busca determinar la biodegradabilidad en todo ambiente de materiales diversos, empleando hongos ambientales y ubicuos, para establecer si un material puede ser considerado como biodegradable o no en un rango de tiempo. Patente PUC licenciada a DICTUC.	Norma propia / Patente
Metales Pesados	Ensayo que a través de criterios y metodologías busca identificar y cuantificar metales pesados provenientes de muestras de compost. El objetivo principal es asegurar la protección de la salud humana y medio ambiental mediante la identificación de metales pesados, como el plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo. Según la norma, se identifica el tipo de compost según las concentraciones obtenidas del ensayo y los límites fijados de referencia.	NCh2880 / TMCC 04.06



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CHILE



Productos biodegradables y compostables para  
films de envases, empaques y embalajes

## ASPECTOS TÉCNICOS Y NORMATIVOS

César Sáez-Navarrete, Ph.D.

csaezn@uc.cl; lerr@dictuc.cl

1. Laboratorio de Energías Renovables y Residuos, LERR UC, Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile
2. Centro de Energía, CE UC
3. Centro de Investigación en Nanotecnología y Materiales Avanzados, CIEN UC
4. Instituto Milenio en Amoníaco Verde como Vector Energético, MIGA

