La metrología de materiales en la economía circular del mundo del plástico

José Antonio Salas Téllez

DIRECCIÓN DE MATERIALES DE REFERENCIA

Principios

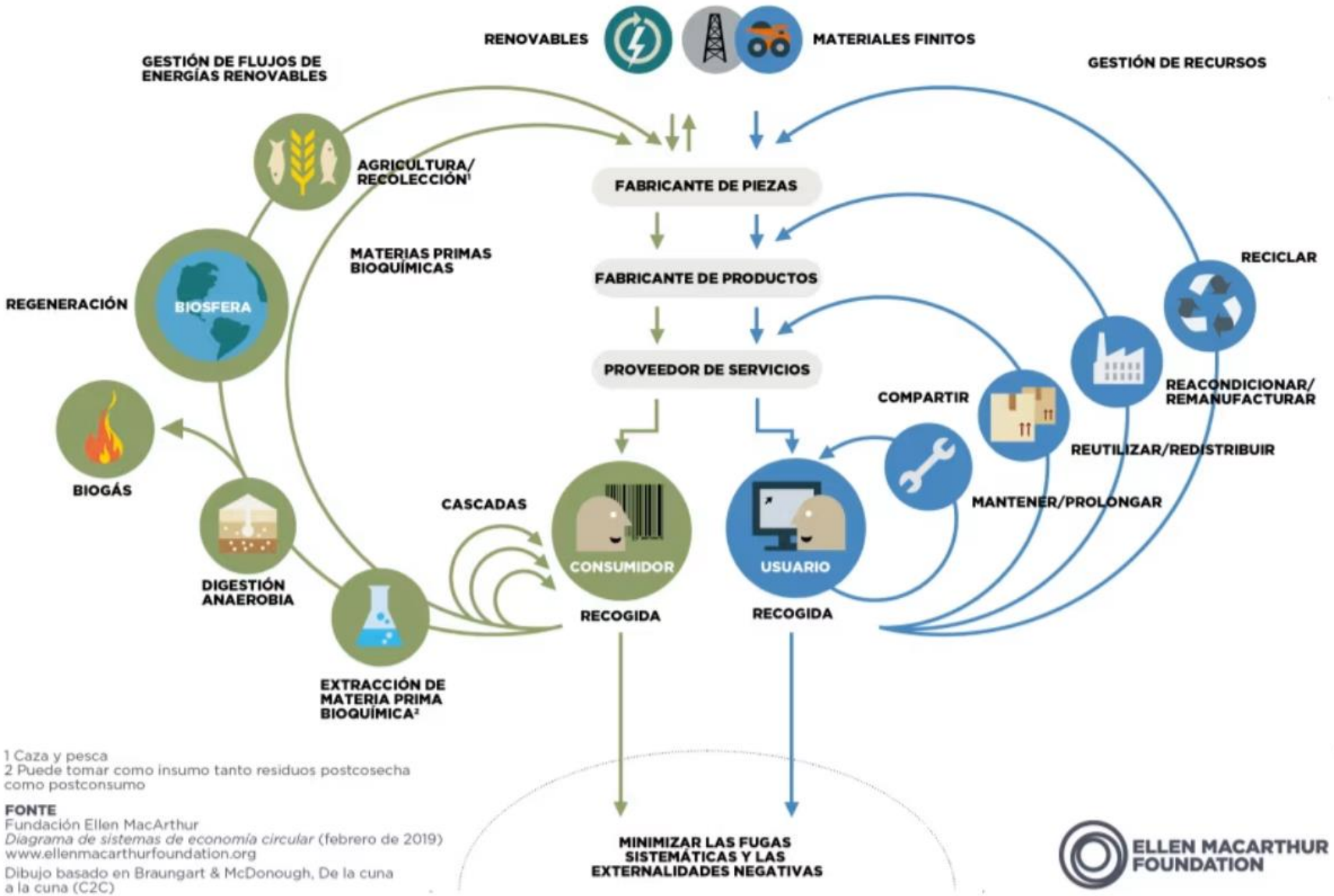
Fuente: Servicio de Investigación del Parlamento Europeo

En nuestra economía actual, extraemos materiales de la Tierra, fabricamos productos a partir de ellos y, finalmente, los desechamos como residuos... el proceso es lineal.

En una economía circular, por el contrario, dejamos de producir residuos desde el primer momento.

La economía circular se basa en tres principios, todos impulsados por el diseño:

- **Eliminar los residuos y la contaminación**
- **Circular los productos y materiales (en su valor más alto)**
- **Regenerar la naturaleza**



1 Caza y pesca
2 Puede tomar como insumo tanto residuos postcosecha como postconsumo

FONTE
Fundación Ellen MacArthur
Diagrama de sistemas de economía circular (febrero de 2019)
www.ellenmacarthurfoundation.org
Dibujo basado en Braungart & McDonough, De la cuna a la cuna (C2C)

El diagrama del sistema de economía circular ilustra el flujo continuo de materiales en una economía circular. Hay dos ciclos principales: el ciclo técnico y el ciclo biológico. En el ciclo técnico, los productos y materiales se mantienen en circulación a través de procesos como la reutilización, reparación, remanufactura y reciclaje. En el ciclo biológico, los nutrientes de los materiales biodegradables se devuelven a la Tierra para regenerar la naturaleza.

Ley General de Economía Circular

La nueva Ley General de Economía Circular de México, aprobada en noviembre del 2021, exige que las empresas registren un plan de economía circular, aumenten el porcentaje de contenido reciclado y logren cero desperdicios.

LEY GENERAL DE ECONOMÍA CIRCULAR
CAPÍTULO I
Disposiciones Generales

Artículo 1.- La presente Ley es reglamentaria de lo dispuesto en los artículos 4º, párrafo quinto, 25, párrafo séptimo y 73, fracción XXIX-G, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de protección al ambiente, desarrollo sustentable, preservación y restauración del equilibrio ecológico.

Se expide en concordancia con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, cuyas disposiciones son de interés social, orden público y de observancia en todo el territorio nacional.

Artículo 2.- Esta Ley tiene por objeto:

I. Promover la eficiencia en el uso de los productos, servicios, materiales, energía, agua, materias primas secundarias, subproductos a través de la producción limpia, la reutilización, el reciclaje y el rediseño, o cualquier criterio de Economía Circular, así como la valorización energética para cumplir con las políticas de Cero Residuos;

II. Promover que, en las actividades económicas, se observen Criterios de Economía Circular;

2024 Felipe Carrillo PUERTO

Ley General de Economía Circular

Décimo.- En relación con las metas progresivas sobre el contenido mínimo de material reciclado de plástico, se deberá observar lo siguiente:

a) Veinte por ciento de material reciclado al año 2025.

b) Treinta por ciento de material reciclado al año 2030.

La economía circular es un modelo de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido. De esta forma, el ciclo de vida de los productos se extiende.

El modelo circular crea capital económico, natural y social y se basa en tres principios:

I. Eliminar residuos y contaminación desde el diseño.
II. Mantener productos y materiales en uso.
III. Regenerar sistemas naturales.

https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/economia-circular.

Sector	Drivers of circular economy growth potential			Overall circular economy growth potential
	Innovation & corporate action	Policies & regulation	Customer preferences & macrotrends	
Plastics & packaged goods				High
Fashion & textiles				High
Food & agriculture				High
Electronics				High
Automotive, transport & logistics				High
Technology, media & telecommunication				Increasing
Engineering & construction				Increasing
Waste management & water				Increasing
Industrial manufacturing				Increasing
Paper, pulp & forestry products				Increasing

Los sectores: los plásticos, la moda, la alimentación y la electrónica,
se destacan como los que tienen más probabilidades de verse significativamente impactados por la economía circular en el corto plazo.

Ref.: Financing the circular economy. ELLEN MACARTHUR FOUNDATION

Su aplicación

Automóvil

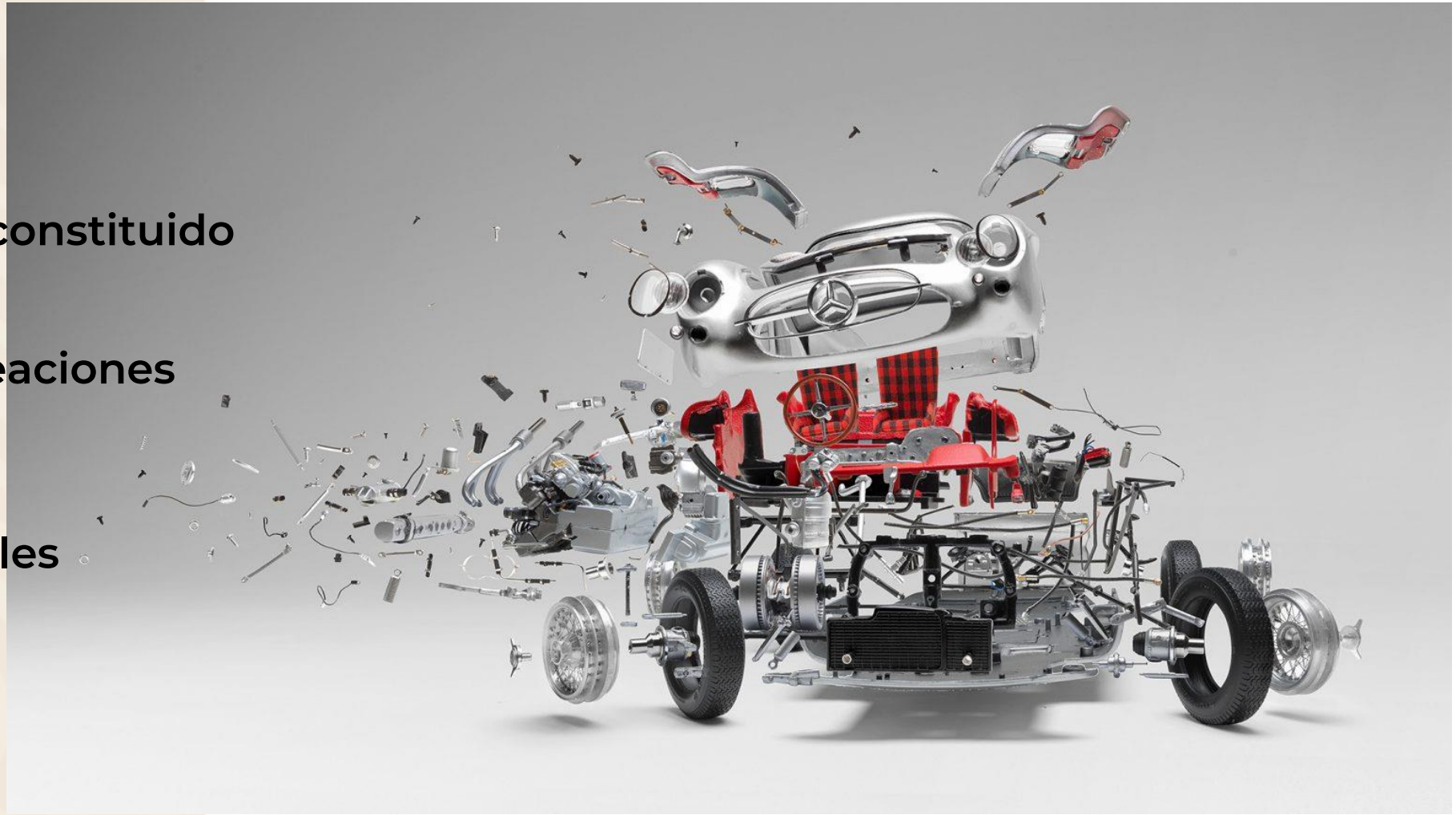
Un automóvil está constituido por aproximadamente 30,000 distintas partes.

Alrededor de 10,000 de esas partes, son de plástico.

Ref.: https://adapt.mx/plastics-in-the-automotive-industry

Un auto estándar está constituido por:

71% a 74% metales y aleaciones
12% a 15% polímeros
5% elastómeros
3% vidrio
6% otros materiales



Peso promedio de un auto: 1,350 kg
Contenido plástico en masa: 162 kg a 203 kg
Contenido de plástico en volumen: 50% del volumen total

https://euric-aisbl.eu/what-we-recycle/

Baterías de autos

El impacto medioambiental de las baterías de coches desechadas que no se reciclan adecuadamente puede ser muy grave por los materiales tóxicos que contienen.

Al reciclar las baterías de los automóviles, se evita el impacto ambiental de la extracción y producción de materias primas, en este caso del plomo.

El principal problema de las pilas y las baterías es la eliminación incontrolada y la liberación de los metales que las componen: mercurio, cadmio y plomo, altamente contaminantes para la salud y el medio ambiente.

Una pila de mercurio puede contaminar hasta 600,000 litros de agua.

https://motor.elpais.com/tecnologia

Residuos en electrónica y TIC

Los equipos eléctricos y electrónicos desechados (como los teléfonos, ordenadores portátiles, frigoríficos, sensores y televisores) se denominan residuos electrónicos o residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

El problema que plantean estos residuos se agrava con el crecimiento de la industria de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Desde 2014, la generación mundial de residuos electrónicos ha crecido en 9,2 millones de toneladas (21%).

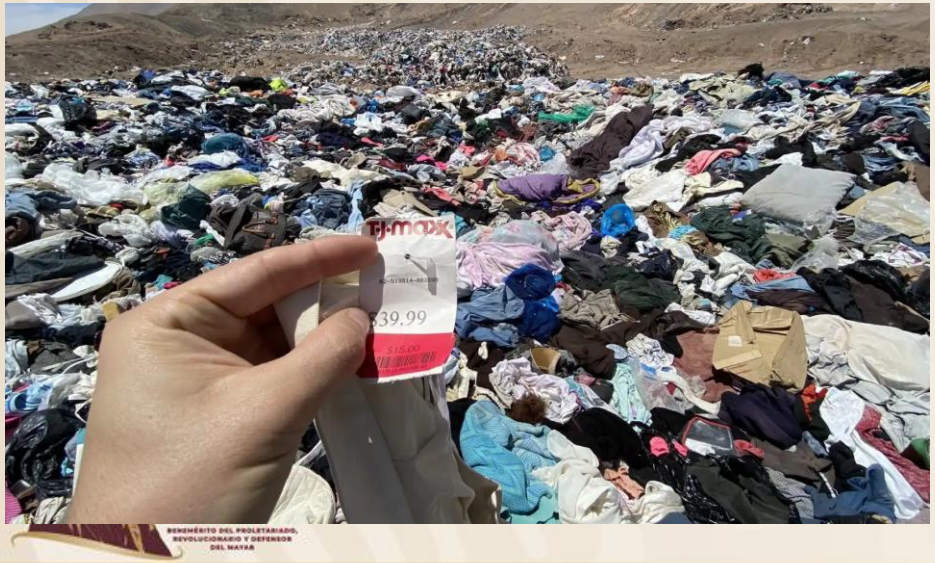
Se desconoce el destino de más de cuatro quintas partes (82,6% o 44,3 t) de los residuos electrónicos generados desde el 2019, así como su efecto en el medio ambiente, se podría contener hasta 50 t de mercurio.

Hasta 69 elementos de la tabla periódica pueden encontrarse en estos equipos.

En la actualidad, solo 78 de 193 países (40%) poseen una política, legislación o reglamentación sobre estos residuos.

https://www.itu.int/es/mediacentre/backgrounders

Textiles y ropa



Los residuos textiles se refieren a cualquier material textil o producto fabricado con textiles que ya no se utiliza o se considera no apto para su función original.

La industria textil y de la confección es responsable del consumo de alrededor de 215 billones de litros de agua al año y de 9% (aprox.) de producción de microplásticos que llegan a los océanos.

La industria de la moda es responsable del 20% del desperdicio total de agua a nivel global.
La producción de ropa y calzado produce el 8% de los gases de efecto invernadero.
La industria de la moda produce más emisiones de carbono que todos los vuelos y envíos marítimos internacionales juntos.

https://www.gob.mx/profeco/documentos/adios-a-tu-ropa-pero-con-responsabilidad

Residuos de construcción y demolición.

Se estima que para el año 2025, a nivel mundial, se producirán cerca de 6 millones de toneladas de basura de construcción. El objetivo de dar a conocer dicha cifra es crear conciencia anticipada, y poner en marcha acciones que ayuden a disminuirla o minimizar sus consecuencias.

En México se originan más de 30,000 toneladas de residuos provenientes, únicamente, de la industria de la construcción y demolición.

El problema de estos desechos es que su separación no es una labor sencilla, pues están compuestos de diferentes materiales, ello provoca un desinterés general para su reutilización.

GRUPOS DE MATERIALES QUE COMPONEN LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN

GRUPO	SUBPRODUCTO	PORCENTAJE DE INCIDENCIA (%)
Material de excavación	Material para relleno.	39
Concreto	Concreto de base hidráulica, concreto hidráulico, adocretos, adopastos, bordillos, postes de cemento, arena, morteros y asfaltos.	25
Escombros	Piedras, blocks, tabiques, mortero, adoquines, tabicones, tubos de albañal, mampostería, tabiquería, ladrillos.	24
Otro	Yeso, muros falsos, madera, cerámica, plásticos, metales, láminas, vidrios, papel, cartón, hojas, ramas, troncos, residuos sólidos urbanos.	12

https://www.cmic.org/

La metrología de materiales en la economía circular del mundo plástico

Plásticos

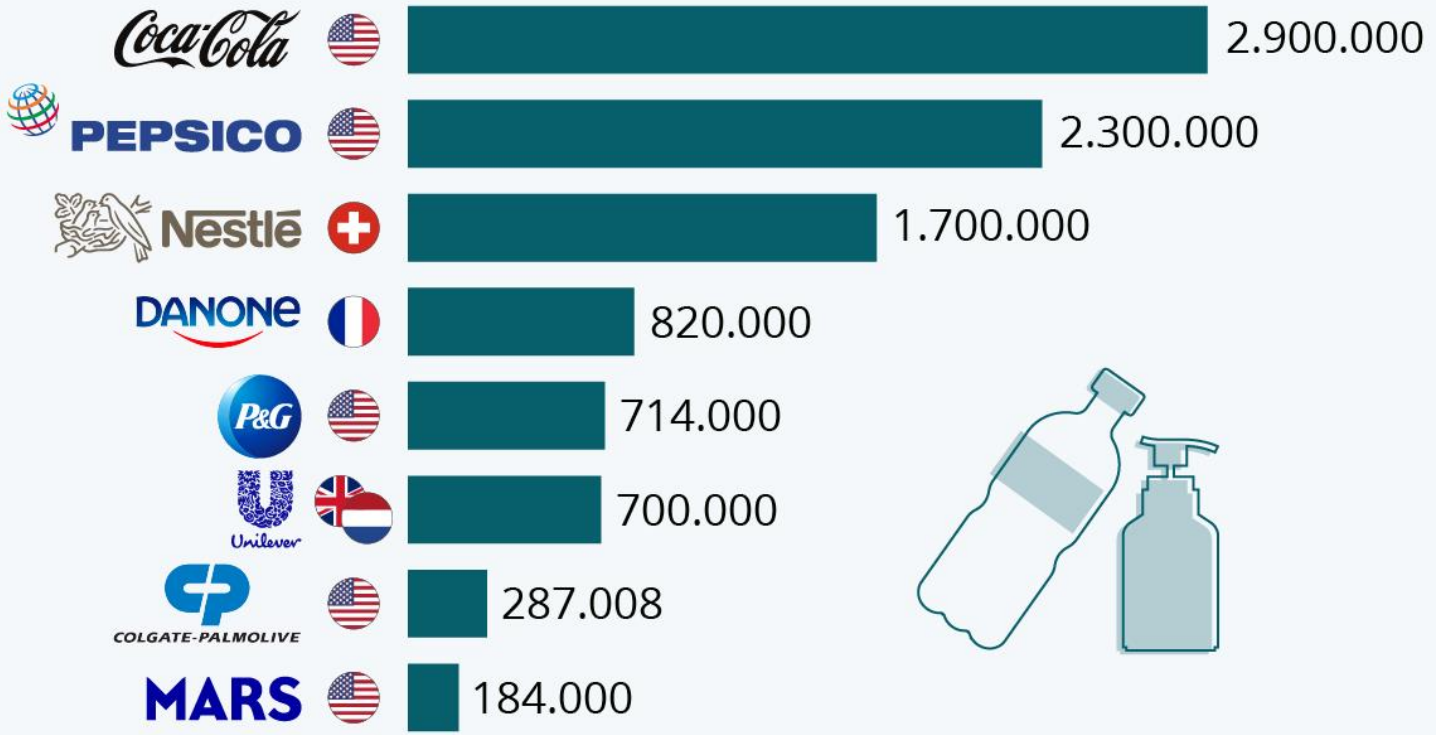
Se pretende reducir en la mayor medida posible, la producción y el uso de plásticos innecesarios.

Para aquellos que se necesitan y no cuentan con una opción ambientalmente más sostenible o de menor impacto, se debe optar por un producto reusable, reciclable o compostable.

https://www.unep.org/es

Las empresas que generan más basura plástica

Cantidad de envases de plástico producidos anualmente (en toneladas)



Datos de 2020. Basado en las empresas que han revelado sus cifras de envases producidos.

Fuente: Changing Markets Foundation

2024 Año de Felipe Carrillo PUERTO
Benemérito del Proletariado, Revolucionario y Defensor del Mayab

statista

METROLOGÍA DE MATERIALES EN ECONOMÍA CIRCULAR DE PLÁSTICOS

PLÁSTICOS BIODEGRADABLES

En desarrollo:
Bolsas, popotes, productos “desechables” (cucharas, platos, tenedores, etc.), películas agrícolas.

PLÁSTICOS RECICLADOS Y RECICLABLES

En desarrollo:
Botellas PET, películas poliméricas, fibras textiles.

MICROPLÁSTICOS

En desarrollo:
Matrices naturales (agua, tierra, aire), productos de consumo: agua, leche, cosméticos, pinturas, detergentes y abrasivos.

2024 Año de Felipe Carrillo PUERTO
BENEMÉRITO DEL PROLETARIADO, REVOLUCIONARIO Y DEFENSOR DEL MAYAB

METROLOGÍA DE MATERIALES EN ECONOMÍA CIRCULAR DE PLÁSTICOS

PLÁSTICOS BIODEGRADABLES

PLÁSTICOS RECICLADOS Y RECICLABLES

MICROPLÁSTICOS

Objetivos:

- ✓ Análisis del entorno: Revisión normativa internacional y nacional.
  - Caracterización química de productos terminados declarados como biodegradables: polímeros presentes, elementos químicos regulados, aditivos.
- ✓ Desarrollo de materiales de referencia certificados:
  - Celulosa con certificación de su biodegradación en diferentes medios.
  - Mezclas poliméricas de importancia industrial-trazabilidad en concordancia con la ISO 18606.
  - Elementos químicos regulados en polímeros.

- ✓ Desarrollo metrológico de protocolos:
  - Evaluación en medios de disposición: Composta (industrial y casera), condiciones anaeróbicas, vertedero, agua.
  - Efecto sistemático de pigmentos y otros aditivos.
  - Productos biobasados y con aditivos de degradación “rápida”.
  - Caracterización cuantitativa o semicuantitiva de mezclas poliméricas.
- ✓ Otros factores: Ciclos de uso, análisis de ciclos de vida. Reciclabilidad

METROLOGÍA DE MATERIALES EN ECONOMÍA CIRCULAR DE PLÁSTICOS

PLÁSTICOS BIODEGRADABLES

PLÁSTICOS RECICLADOS Y RECICLABLES

MICROPLÁSTICOS

Objetivos:

- ✓ Análisis del entorno: Revisión normativa internacional y guías internacionales. Análisis botellas PET y PEAD y procesos de manufactura.
  - PET y PEAD: “No existe un método de caracterización definitivo, que permita identificar un producto de plástico reciclado (o con contenido reciclado) de uno de plástico virgen”. Balance de masa.
- ✓ Desarrollo metrológico de protocolos:
  - Caracterización físico-química para la determinación de la factibilidad de identificar cualitativa y cuantitativamente el contenido polimérico reciclado en productos terminados.
  - Reciclabilidad: efecto de aditivos, ciclos de reciclaje, compatibilidad.

- ✓ Desarrollo de materiales de referencia certificados:
  - Mezclas poliméricas PET y PEAD (reciclado y virgen) con diferentes contenidos reciclados.
  - PET con contenido certificado de metales pesados y antimonio. Migración.
- ✓ Otros factores: Ciclos de reciclaje, evaluación de ciclos de uso y ciclos de vida.

METROLOGÍA DE MATERIALES EN ECONOMÍA CIRCULAR DE PLÁSTICOS

PLÁSTICOS BIODEGRADABLES

PLÁSTICOS RECICLADOS Y RECICLABLES

MICROPLÁSTICOS

Objetivos:

- ✓ Protocolos de caracterización metrológicos:
  - Medio ambiente: identificación y cuantificación.
  - Productos de consumo (agua, leche); uso intencionado (pinturas, abrasivos, cosméticos, detergentes, etc.).
  - Procesos de manufactura y liberación al medio ambiente.
  - Microplásticos y nanoplásticos.
  - Productos oxodegradables y uso de otros aditivos de degradación “rápida”.
- ✓ Desarrollo de materiales de referencia certificados:
  - Microplásticos y nanoplásticos considerando: Naturaleza química, concentración, matrices.

2024 Felipe Carrillo PUERTO

Productos biodegradables. Ejemplo bolsas

compostable

INDUSTRIAL COMPOSTABLE DIN Geprüft

BPI ®

COMPOSTABLE
IN INDUSTRIAL FACILITIES
Check locally, as these do not exist in many communities. **Not suitable for backyard composting.** CERT # SAMPLE

¿Factibilidad técnica y económica?

ISO 18606:2013 Embalaje y medio ambiente – Reciclado orgánico Casos planteados.

CASO 1: Plásticos

Productor de plásticos (pellets, films)

Compra de materia prima (film)

Propiedades físico químicas del producto

Biodegradabilidad

Desintegración Física

Análisis de calidad de composta y ecotoxicidad

Cumplimiento (Posible Certificación)

Espesor máximo en prueba de desintegración (film) t^c_{film}

Fabricante de rollos de película polimérica

$t^p_{film} \leq t^c_{film}$
TRAZABILIDAD

Cumplimiento ISO 18606 (Posible Certificación)

Composta industrial
Composta casera

Compra

Fabricante de bolsas de acarreo

Caso 1: Sin constituyentes químicos ni impresión.

$t^b_{film} \leq t^p_{film}$
TRAZABILIDAD

Cumplimiento ISO 18606 (Posible Certificación)

Caso 2: Adición de compuestos y/o impresión

ISO 18606 (pruebas adicionales)

Cumplimiento ISO 18606 (Posible Certificación)

Felipe Carrillo PUERTO
BENEMÉRITO DEL PROLETARIADO, REVOLUCIONARIO Y DEFENSOR DEL MAYAB

Ejercicio con entidades.
Productos ya comercializados etiquetados como biodegradables.
Caso bolsas.

Bolsa No.	Polímeros identificados	Polímero(s) potencialmente Biodegradable(s)(1)	Aditivo oxodegradable
1	Polietileno	No	Si
2	Polietileno	No	Si
3	Polietileno	No	No
4	Polietileno	No	Si
5	Polietileno	No	Si
6	Polietileno	No	Si
7	Polietileno	No	Si
8	Polietileno	No	Si
9	Polietileno	No	Si
10	Polietileno	No	Si
11	PBAT, PLA y almidón	Si	No
12	PBAT, PLA y almidón	Si	No
13	Polietileno	No	Si
14	Polietileno y almidón	Solo el almidón. (2)	No
15	Polietileno	No	Si
16	Polietileno	No	No
17	Polietileno	No	No
18	Polietileno	No	No
19	Polietileno	No	No
20	Polietileno	No	Si
21	Polietileno	No	Si
22	Polietileno	No	Si

Método cuantitativo por FRX

	ERM-EC680k			ERM-EC681k		
As	4.1	± 0.5	mg/kg	29.1	± 1.8	mg/kg
Br	96	± 4	mg/kg	0.77	± 0.04	g/kg
Cd	19.6	± 1.4	mg/kg	137	± 4	mg/kg
Cl	102.2	± 3.0	mg/kg	0.80	± 0.05	g/kg
Cr	20.2	± 1.1	mg/kg	100	± 5	mg/kg
Hg	4.64	± 0.20	mg/kg	23.7	± 0.8	mg/kg
Pb	13.6	± 0.5	mg/kg	98	± 6	mg/kg
S	76	± 4	mg/kg	0.63	± 0.04	g/kg
Sb	10.1	± 1.6	mg/kg	99	± 6	mg/kg

Indicative values

	ERM-EC680k			ERM-EC681k		
Sn	15.3	± 2.8	mg/kg	86	± 6	mg/kg
Zn	137	± 20	mg/kg	1.25	± 0.07	g/kg

ISO 18606:2013 Embalaje y medio ambiente – Reciclado orgánico

Concentraciones máximas de metales regulados y otras sustancias peligrosas al medio ambiente, mg/kg (base seca).				
Elemento	USA	Canadá	UE	Japón
Zn	1400	463	150	180
Cu	750	189	50	60
Ni	210	45	25	30
Cd	17	5	0.5	0.5
Pb	150	125	50	10
Hg	8.5	1	0.5	0.2
Cr	-----	265	50	50
Mo	------	5	1	----
Se	50	4	0.75	-----
As	20.5	19	5	5
F	----	------	100	-----
Co	-----	38	-----	-----

¡Gracias por su atención!

AÑO DE 2024 Felipe Carrillo PUERTO
BENEMÉRITO DEL PROLETARIADO, REVOLUCIONARIO Y DEFENSOR DEL MAYAB

Dra. Yadira Guadalupe Maldonado
Dr. Armando López Miranda
M. en C. Saúl Adrián Gallardo

Antonio Salas
jsalas@cenam.mx
442 211 0500 ext. 3230