

# EL HOMBRE, LOS MATERIALES Y EL MEDIOAMBIENTE

**Palabras clave:** Materiales, Medioambiente, Producción sustentable, Análisis de Ciclo de Vida.  
**Key words:** Materials, Environment, Sustainable production, Life Cycle Assessment.

La industrialización y sus efectos sobre el medioambiente es uno de los grandes problemas que afecta al futuro de la vida del hombre sobre la tierra. Esto es producto del desarrollo económico y tecnológico y también de una mayor demanda de bienes y servicios por parte de una población global creciente. Esta mayor demanda implica un consumo creciente de recursos, muchos de ellos no renovables, la consecuente contaminación de la atmósfera, del agua y de los suelos del planeta y, entre otros efectos, la contribución al calentamiento global.

Este artículo intenta revisar la relación del hombre con los materiales y el medioambiente, como así también a elementos de la llamada producción sustentable y a un hito fundamental para la misma que es el "Análisis del Ciclo de Vida" (o ACV) de materiales y productos. Para ilustrar estos temas se hace referencia a algunos casos significativos.

Industrialization and its effects on the environment is one of the big problems that affects the future of man's life on earth. This is a product of economic and technological development and also of a greater demand for goods and services by a growing global population. This greater demand implies an increasing consumption of resources, many of them non-renewable, with the consequent pollution of the planet's atmosphere, water and soils and, between other effects, the contribution to global warming. This article attempts to review the relationship of man with materials and the environment, as well as elements of the so-called sustainable production and a fundamental milestone for it, which is the "Life Cycle Assessment" (or LCA) for materials and products. To illustrate these issues, reference to some significant cases is made.

## ■ INTRODUCCIÓN

"El medioambiente constituye un sistema, la sociedad humana también lo es. Ambos coexisten e interactúan. Estas interacciones pueden ser fuertes o débiles. Cuando dos sistemas de por sí complejos interactúan, las consecuencias son difíciles de prever. Una de esas consecuencias ha sido el impacto destructor de la sociedad industrial sobre el medioambiente y el ecosistema en el cual vivimos y del cual dependemos. Ciertos impactos son evidentes después de más de un siglo, suscitando acciones reparadoras que han sido eficaces en muchos casos. Otros impactos han aparecido más recientemente, entre ellos el cambio climático global, que si se lo deja evolucionar podrá ser muy perjudi-

cial". Esta reflexión pertenece a M. Ashby en su libro "Materials and Environment", una de las obras referenciales en el tema [1]. Este problema y otras crisis ecológicas están asociados a la forma en que los humanos utilizamos elementos fundamentales de la sociedad actual: la energía, el agua y los materiales. Continúa Ashby: "Si se decide emprender alguna acción para remediar problemas, lo primero que se debe hacer es intentar comprender el origen, el mecanismo, las consecuencias y el nivel al que, mediante una elección cuidadosa de los materiales, se puede influenciar sobre la situación bajo análisis". Este artículo brinda algunos elementos y reflexiones que pueden contribuir al conocimiento y a la mejora del proceso de elección. Para ello se pasa revista

a la relación del hombre con los materiales, a elementos de la llamada producción sustentable y a un elemento fundamental para la misma que es el llamado "Análisis del Ciclo de Vida" (o ACV) de materiales y productos. Para ilustrar estos temas se hará referencia a algunos casos significativos.

La palabra **material** proviene del término latino *materialis* y hace referencia a lo que tiene que ver con la materia. La materia, por su parte, es definida como todo lo que ocupa un espacio y posee masa, forma, peso y volumen, por lo tanto es observable y medible; también referencia al material, sustancia o producto del que está hecha una cosa. El uso que se le da al término en Ciencia e Ingeniería, define a los materiales

## ■ Alberto A. Pochettino

Instituto de Investigaciones e Ingeniería Ambiental (3iA)  
Universidad Nacional de San Martín  
Gerencia de Química,  
Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)

E-mail: alberto.poch@gmail.com

como “sustancias con cualidades útiles que pueden ser térmicas, mecánicas, electromagnéticas o de otra clase” [2][3].

El hombre siempre ha utilizado materiales a través de los tiempos. La naturaleza, gracias a sus ciclos bien equilibrados (el ciclo del carbono, del nitrógeno o del agua) muestra ejemplos sobre la utilización de los materiales que, al fin de su vida, son reciclados para reaprovisionar las fuentes de donde son extraídos. Esto implica un **círculo cerrado** en el cual el flujo y los desechos asociados se adaptan de una a otra etapa de vida, de forma tal que no existe acumulación de desechos a lo largo del ciclo. El hombre intenta, pero no ha logrado imitar a la naturaleza, ya

que la forma en la cual se utilizan los materiales no llega a constituir un **círculo cerrado**, o, si pudiese ser cerrado, las unidades del **círculo** muchas veces no operan a ritmos compatibles entre sí.

El problema actual es la industrialización y sus efectos sobre el ambiente. Esto es producto del desarrollo económico y tecnológico y también de una mayor demanda por parte de una población global creciente. Una mayor demanda de productos implica un consumo creciente de recursos, muchos de ellos no renovables.

■ **BREVE RELATO HISTÓRICO**

Un breve repaso temporal de los

materiales que ha utilizado y utiliza el hombre hasta comienzos de este siglo se puede visualizar en la Fig.1, mientras que la Fig. 2 muestra la evolución de la población humana del planeta [4-5]. En ambos casos, la escala temporal es no lineal. Analizando brevemente la historia de la relación del hombre con los materiales, se puede concluir que antiguamente el crecimiento no representaba un problema. Actualmente, el desarrollo del conocimiento permite tomar conciencia que la evolución actual del planeta está llevando al hombre hacia el límite de muchos de sus recursos y que adaptarse a esa situación no será fácil. La producción y utilización sustentable de materiales es entonces fundamental para la supervivencia de la humani-

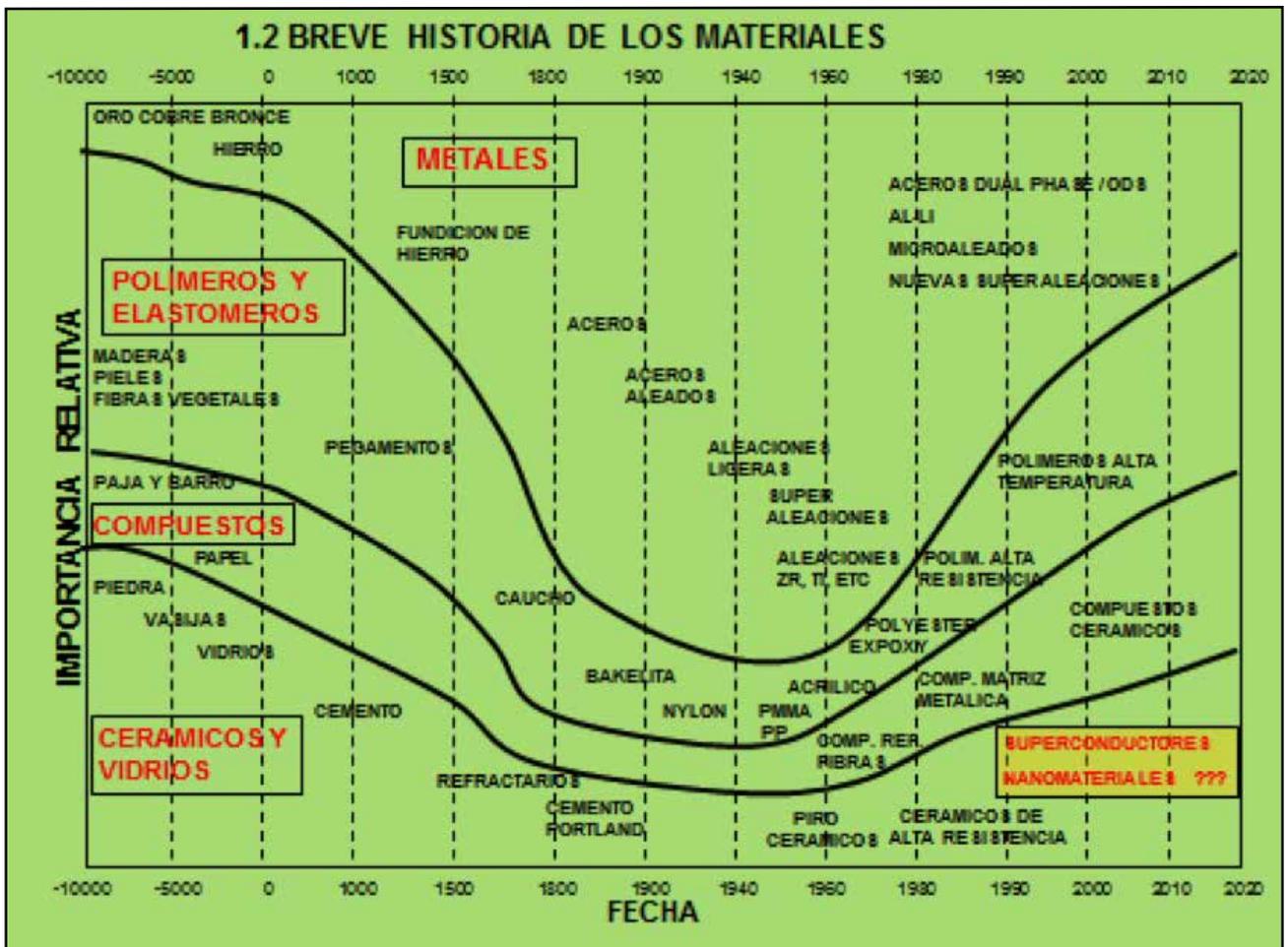


Figura 1. Representación esquemática de la evolución histórica de los materiales y su importancia relativa. Escalas arbitrarias.

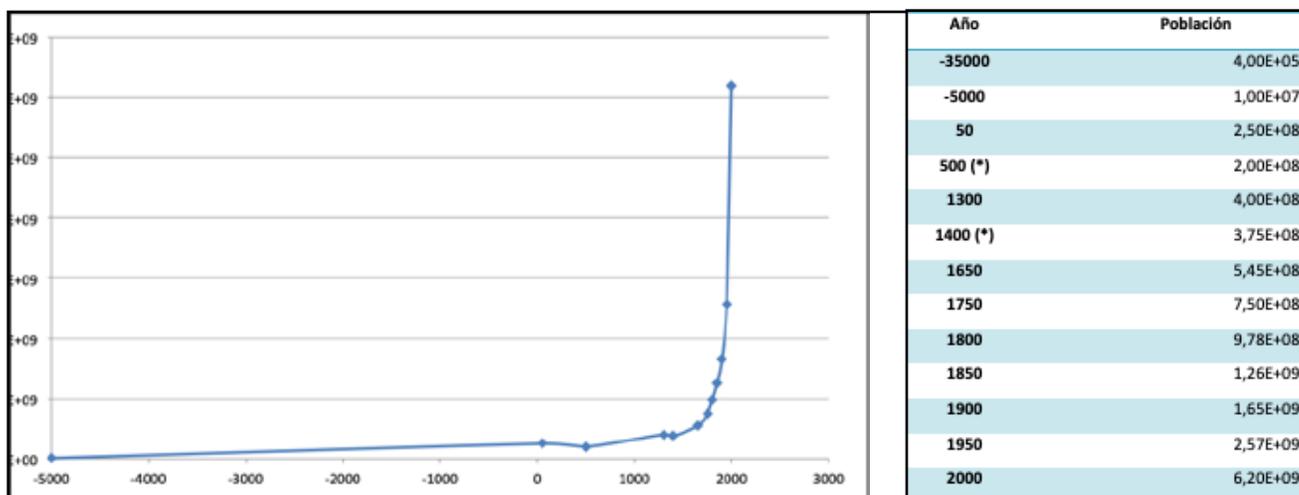


Figura 2. Evolución de la población del planeta. Con (\*) efectos de hambrunas y pestes sobre la población [5].

dad. A continuación se revisan algunos hitos de la evolución del uso de materiales junto a su ubicación cronológica [1] [6]:

- En la prehistoria el hombre utilizó huesos y piedras para construir herramientas para la agricultura y armas. También usó fundamentalmente materiales naturales: piedras, troncos, ramas y barro para construir viviendas y cueros para protegerse del frío. El descubrimiento del fuego ayudó al hombre en la alimentación y también en el manejo de los materiales. La población mundial era aproximadamente  $0,5 \cdot 10^6$  habitantes alrededor de 10 000 AC.

- El oro, la plata y el cobre, los únicos metales que se encontraban en estado original, eran conocidos con anterioridad, pero la conciencia de que eran materiales *dúctiles*, que podían ser trabajados a golpes para tomar formas complejas y, una vez trabajados resultaban ser más duros, data de aproximadamente 5500 AC. [6].

- Un período de desarrollos tecnológicos para la humanidad de entonces comienza con la utilización de hornos para cocinar piezas de cerámica. Esto ocurrió unos 4000 AC y le permitió al hombre obtener

temperaturas y atmósferas para reducir minerales ricos en cobre. Estos fueron desarrollos tecnológicos que permitieron a nuestros antepasados construir herramientas, armas y objetos ornamentales, que se asocian a la llamada "*Edad del Cobre*". La posterior introducción del estaño en Cu, dio lugar a la generación de una aleación con mejores propiedades mecánicas: el bronce, apareciendo entonces la "*Edad del Bronce*".

- Posteriormente, unos 1500 AC el hombre comienza a conocer la forma de reducir los óxidos de hierro, en particular la *hematita* ( $Fe_2O_3$ ), para obtener el Fe a partir del proceso que hoy se conoce como forja. El material obtenido poseía una rigidez, solidez y dureza superior a todos los otros materiales, transformando al bronce en un "material obsoleto" para la defensa. Comienza entonces la "*Edad del Hierro*".

- Existe entonces una brecha de casi dos mil años hasta que, aproximadamente en el 1500 DC se desarrolló el "alto horno" permitiendo la generalización del uso de materiales fundidos. La población mundial en esos momentos era de aproximadamente  $400 \cdot 10^6$  habitantes. La población en los 15 siglos anteriores creció lentamente como consecuencia de epi-

demias y hambrunas.

- El acero producido industrialmente recién aparece en 1856 y esto transforma al Fe en el mineral más utilizado por el hombre desde ese momento a la actualidad. Este es el período de la Revolución Industrial y también de aceleración del crecimiento demográfico.

- La humanidad asistió a una verdadera revolución del uso de los materiales como consecuencia de los desarrollos tecnológicos de los últimos 200 años, producto de las demandas sociales, económicas y también militares. Nos encontramos ante un fuerte desarrollo industrial y demográfico:  $2,57 \cdot 10^9$  habitantes en 1950;  $7,35 \cdot 10^9$  habitantes en 2015. La Tabla I presenta resumidamente los diferentes materiales y sus aplicaciones más frecuentes. Algunos comentarios:

- En el caso de los materiales metálicos, la demanda creada por la industria aeronáutica y espacial llevó al desarrollo de aleaciones ligeras basadas en el aluminio, el magnesio y el titanio (alrededor de 1950). Las necesidades de turbinas que trabajan a altas temperaturas impulsaron el desarrollo de las "*superaleaciones*"

**Tabla I - Principales materiales y sus aplicaciones más habituales [7]**

METALES		PRINCIPALES UTILIZACIONES
FERROSOS	Fundición Hierro	Autopartes, blocks de motores, componentes estructurales de máquinas herramientas.
	Aceros c/alto contenido de C	Herramientas de corte, resortes, cojinetes, cigüeñales, ejes, vías de ferrocarril.
	Aceros contenido medio C	Aplicaciones generales a la ingeniería mecánica (herramientas, ejes, cojinetes, engranajes, etc.)
	Aceros con bajo contenido C	Estructuras de aceros, puentes, oleoductos, refuerzos de concreto, autopartes, packaging (tambores, latas), etc.
	Aceros de baja aleación Aceros inoxidables	Resortes, herramientas, autopartes (engranajes), rodamientos, etc. Transporte, industria química y de la alimentación, plantas nucleares, recipientes de presión, implementos quirúrgicos, electrodomésticos, etc.
NO FERROSOS	Aleaciones de Aluminio: - Fundidas -No tratables térmicamente  -Tratables térmicam.	Autopartes (cilindros), aplicaciones domésticas. Conductores eléctricos, intercambiadores de calor, láminas, tubos, cacerolas, latas para bebidas, Paneles para arquitectura, embarcaciones ligeras, etc. Ingeniería aeroespacial, paneles para autos, estructuras ligeras, barcos, etc.
	Aleaciones de Cobre	Conductores eléctricos y alambres, intercambiadores de calor, calderas, utensilios de cocina, monedas, esculturas, etc.
	Aleaciones de Plomo Aleaciones de Magnesio	Techos y revestimientos, protección a Rayos X, electrodos de baterías, etc. Fundiciones para autos, llantas para ruedas, fundiciones ligeras para transporte, contenedores combustibles nucleares, adición principal para la producción de aleaciones de base Al.
	Aleaciones de Niquel	Turbinas para gas y para motores de avión, monedas, adición para producción de aceros inoxidables austeníticos.
	Aleaciones de Titanio	Álabes de turbinas, aplicaciones estructurales para aeroespacial, implantes biomédicos.
	Aleaciones de Zinc	Piezas de fundición (automotores, juguetes, electrodomésticos), recubrimiento en acero galvanizado.
	Aleaciones de Circonio	Industria nuclear y química.
	POLÍMEROS	
ELASTÓMEROS	Isopreno (IR)	Neumáticos, tubos inertes, aislación, tuberías, zapatos.
	Goma Natural (NR)	Guantes, neumáticos, tubos, aislación eléctrica.
	Neoprene (CR)	Trajes de neoprene, O-rings, selladores, calzados.
	Poliuretano (Elast.) (PU-el)	Packaging, mangueras, adhesivos, revestimientos de telas
	Siliconas (elastómero)	Aislación eléctrica, encapsulado electrónico, implantes médicos.
TERMO-PLÁSTICOS	Polímeros celulósicos (CA)	Mangos de herramientas y cubiertos, decorativo, plumas.
	Ionómeros (I)	Packaging, pelotas de golf, botellas, blisters.
	Poliamidas (nylon) (PA)	Engranajes, packaging, botellas, textiles, cuerdas, etc.
	Policarbonato (PC)	Anteojos de seguridad, cascos, escudos, accesorios luz, componentes médicos.
	Polietileno (PE)	Packaging, bolsos y accesorios, tubos, juguetes, juntas artificiales, etc. Botellas moldeadas por inyección, films, cintas de audio y video, paños, etc.
	Polietileno terephthalato (PET)	Ventanillas de aviones, lentes, reflectores, luces, discos compactos.
	Polimetil metacrilato (PMMA)	Ropas, tubos, aisladores eléctricos, hervidores, etc.
	Polipropileno (PP)	Juguetes, packaging, elementos cortantes.
Poliestireno (PS)	Tubos, marcos de ventanas, canaletas, packaging.	
Polivinilclorado (PVC)	Recubrimientos que no se pegan, skies, aisladores eléctricos, cintas, cojinetes.	
Teflon (PTFE)		
TERMO-ESTABLES	Epoxies (EP)	Adhesivos, materiales compuestos de fibras, encapsulado electrónico.
	Fenólicos (PHEN)	Conectores eléctricos, utensilios de cocina, manijas, adhesivos.
	Poliéster (PEST)	Muebles, barcos, elementos deportivos
ESPUMAS	Espuma Polimérica flexible	Packaging, flotadores, esponjas, colchones, amortiguación.
	Espuma Polimérica rígida	Aislantes térmicos, paneles sandwichs, packaging, flotadores.

COMPUESTOS		PRINCIPALES UTILIZACIONES
METÁLICOS	Aluminio / Carburo de Silicio	Autopartes, elementos deportivos.
POLIMÉRICOS	Refuerzo Fibra de Carbono	Componentes estructurales ligeras (aeroespaciales, bicicletas, elementos deportivos, cascos de botes, autopartes, resortes, etc.)
	Refuerzo Fibra de Vidrio	Cascos de botes, autopartes, plantas químicas.
CERAMICOS		
VIDRIOS	Vidrio Borosilicato	Utensilios para horno, utensilios para laboratorio, faros.
	Vidrio Cerámico	Utensilios de cocina, láseres, espejos de telescopios.
	Vidrio de Silicato	Ventanas de alta performance, aplicaciones para altas temperaturas.
POROSOS	Ladrillo	Construcción de edificios
	Cemento	Uso general en la ingeniería civil de construcción
	Piedra	Edificios, arquitectura, escultura.
TÉCNICOS	Alúmina	Herramientas de corte, sustrato de microcircuitos, válvulas, bujías
	Nitrato de Aluminio	Sustrato de microcircuitos y sumidero de calor
	Carbonato de Boro	Armaduras ligeras, boquillas, partes de herramientas de precisión
	Silicio	Microcircuitos, semiconductores, instrumentos de precisión.
	Carburo de Silicio	Equipos para alta temperatura, pulidor abrasivo, armaduras
	Nitruro de Silicio	Cojinetes, herramientas de corte, partes de máquinas
Carburo de Tungsteno	Herramientas de corte, abrasivos, perforadoras.	
NATURALES		
	Bambú	Construcción, papel, andamios, canastas, cuerdas, mobiliario.
	Corcho	Corchos y tapones, flotadores, packaging, pisos.
	Cuero	Zapatos, ropas, carteras y valijas, correas de transmisión
	Madera	Construcción, pisos, puertas, mobiliario, packaging, elementos deportivos.

producto de aleaciones de Ni y Fe. La industria nuclear llevó al desarrollo de la tecnología de las aleaciones de circonio (resistentes a la radiación neutrónica). La industria química y petrolera impulsaron particularmente el desarrollo y producción de aceros inoxidables.

- Polímeros: La utilización del caucho aparece en Europa alrededor de 1550, aunque su uso intensivo recién ocurre en el siglo XIX como consecuencia del proceso de vulcanización (reticulación de las cadenas por azufre). El importante incremento del uso de los polímeros se da a mediados del siglo XX como consecuencia del desarrollo de la industria petroquímica.
- Materiales compuestos (y para la construcción): como los polímeros "puros" no poseían ni la rigidez ni la resistencia mecánica que muchas veces requerían las

aplicaciones, se los reforzó con partículas o fibras de cerámicos o de vidrio, dando lugar a los materiales compuestos. Estos materiales no son novedosos para el hombre: desde la antigüedad se reforzaban con paja los ladrillos de barro para hacerlos más resistentes. En relación a los materiales para la construcción, los romanos fabricaban "su hormigón" mezclando ceniza volcánica con cal (óxido de calcio) y agua del mar. Esto permitió realizar construcciones de gran resistencia y duración, particularmente puentes [8]. Otro conocido: el "hormigón o cemento armado" que se utiliza desde mediados del siglo XIX en las grandes construcciones. El refuerzo del cemento con estructuras de barras de acero le confiere a este compuesto una resistencia a la tracción que el cemento por sí solo no posee.

- En la segunda parte del siglo XX tiene lugar un desarrollo revo-

lucionario que cambió sustancialmente la vida del hombre: la tecnología del silicio y de los semiconductores. Este descubrimiento abrió las puertas de la electrónica del estado sólido, la mecatrónica, la informática moderna, las comunicaciones globales, el procesamiento de imágenes, los captores, el manejo de procesos en tiempo real y muchas cosas más, aparte de aquellas a descubrir. Por supuesto, al final del siglo pasado y en el actual han surgido nuevos desarrollos y expectativas a las que se hará referencia más adelante.

## ■ CONSUMO ACTUAL DE MATERIALES

La Tabla II presenta el consumo y consecuentemente la producción anual de materiales, agregándose como referencia en su parte superior dos elementos que son fundamentales para entender la afirmación de lo dramático que puede transformarse

en el futuro el consumo de materiales no renovables:

- a) la producción de hidrocarburos fósiles (petróleo, carbón y gas), es la principal materia prima para la producción y transformación de materiales: 11,4.10<sup>9</sup> tn/año en 2017 [9].
- b) La emisión mundial de CO<sub>2</sub> correspondiente a 2017: 32,5.10<sup>9</sup> tn/año. Esta creció un 1,4% respecto a 2016, después de tres años de crecimiento prácticamente nulo [10].

Algunas consideraciones:

- A escala mundial se utilizan aproximadamente 10<sup>10</sup> tn/año de materiales o aproximadamente 1,5 tn/ (persona-año). El consumo se reparte en forma muy desigual entre los países desarrollados y en vía de desarrollo. La cifra de consumo aumenta año a año para todos los materiales y podría hacerlo fuertemente cuando el consumo en China e India comience a acercarse al de los países desarrollados.

- Metales: el acero es el material metálico más consumido, superando en un orden de magnitud al Aluminio. Su polivalencia, su solidez, su bajo costo y su disponibilidad son *inigualables*. El consumo de los otros materiales metálicos es sensiblemente menor al del Al [11-18].

- El consumo anual total de polímeros de uso corriente, entre los que se incluye el polietileno (PE, 80 Mtn/año), el policloruro de vinilo (PVC, 38 Mtn/año), el polipropileno (PP, 68 Mtn/año) y el polietileno tereftalato (PET, 33 Mtn/año), excede al de todos los metales, excepto al acero [19].

- El consumo de materiales para la construcción supera a metales y

**Tabla II - Datos actualizados sobre la producción de hidrocarburos fósiles, emisión de CO<sub>2</sub> y la utilización de materiales a escala global.**

	Producción mundial (106tn/año)
Petróleo y carbón (2016) [9]	11.800
Emisión mundial de CO <sub>2</sub> (2017) [10]	32.500
Aceros (2018) [11]	1.600
Aleaciones de Al (2018) [12]	65
Aleaciones de Cu (2017) [13]	21
Aleaciones de Zn (2017) [14]	12
Aleaciones de Pb (2017) [15]	11,5
Aleaciones de Ni (2018) [16]	2,2
Aleaciones de Mg (2017) [17]	0,75
Aleaciones de Ti (2017) [17]	0,2
Plata (2017) [18]	0,027
Au (2017) [18]	0,003
Polímeros (2015) [19]	322
Cemento (2018) [20]	4.100
Asfalto (2017) [21]	1.600
Vidrios (2017) [22]	37
Ladrillos (2016) [23]	1.500 (*)
Maderas (2017) [24]	3.797
Papel y cartón (2017) [25]	413
Fibras naturales (2016) [26]	30
Fibras artificiales (2016) [26]	70
Fibras de Carbono (2017) [27]	0,07
(*) Datos en millones de unidades.	

polímeros. El cemento es la estrella; actualmente el uso de cemento armado supera en volumen a todo otro material producido por el hombre. Le siguen, también con muy alto consumo, el asfalto para la construcción de caminos, el vidrio y los ladrillos [20-23].

- Otro caso interesante es la madera, cuyo consumo es superior al del acero. Cerca de la mitad de la producción se quema (¡sin comentarios!), el resto se utiliza en la construcción, mobiliario, producción de papel y cartón, etc [24] [25].

- Para los compuestos se observa un fuerte aumento del nivel de utilización de fibras de carbono como refuerzo estructural. Hace 30 años la utilización de este material era muy

baja. Actualmente comienza a aproximarse al nivel de utilización de las aleaciones de Ti [26-27].

## ■ MIRANDO AL FUTURO

Hay otros descubrimientos y desarrollos importantes que aparecen a fines del siglo XX, que podríamos definir como la "nueva generación de materiales". Ella está asociada a las tendencias futuras de los materiales que se basan en tres amplias necesidades industriales y sociales [28]:

- 1) Sustentabilidad y materiales seguros,
- 2) materiales para energía y

- 3) materiales de alto valor en el mercado.

Se cree que los nuevos materiales se valorizarán, más que por su alto valor intrínseco, por la forma en que ellos se integren en componentes y sistemas, permitiendo nuevos diseños y la mejora de sus desempeños. Por otra parte, es cada vez más difícil separar desarrollo de materiales de innovaciones productivas; uno lleva a la otra en un círculo virtuoso de mejora hacia la performance óptima. Los más importantes desarrollos de futuros materiales comprenderán la integración de “viejos” y “nuevos” materiales con un incremento de precisión y sofisticación, aún en la nano-escala.

La **sustentabilidad y los materiales seguros** incluye temas como: materiales estructurales livianos, materiales con impacto ambiental reducido a través de su ciclo de vida, materiales bioderivados y biodegradables, nuevas tecnologías y procesos que permitan incrementar la recirculación de los materiales.

Entre los **materiales para la energía** se pueden citar como ejemplo nuevas aleaciones para turbinas que puedan trabajar a altas temperaturas, materiales para la industria nuclear que puedan soportar elevado daño por radiación en reactores avanzados sin sufrir cambios radicales en sus propiedades, materiales que permitan mejorar la protección a la corrosión, la oxidación y el desgaste por recubrimientos que pueden llegar a la escala nano. Finalmente, un importante espectro de actividades se abren en temas de materiales para la producción de energías renovables, el almacenamiento de las mismas (por ejemplo las baterías de ión litio) y la electrificación del transporte.

Los **materiales de alto valor de mercado** incluyen nano-estructuras de carbono relacionadas con dispositivos: electrónicos (transistores rápidos, aplicaciones a computación cuántica), ópticos (pantallas, celdas solares), almacenamiento de energía electroquímica (baterías, supercondensadores), entre otros. Finalmente, otro mercado de materiales de alto valor es el de los biomateriales; registrándose en estas dos últimas décadas un fuerte desarrollo de los materiales para implantes. El diseño 3D sin dudas representa un fuerte impulso al desarrollo de implantes a medida de las necesidades de los pacientes.

Una pregunta que muchos especialistas se han realizado a lo largo del tiempo: **¿El hombre “utiliza o depende” de los materiales?** La respuesta es clara: los utiliza y el consumo hace que cada día dependa más de ellos, con un agravante ya señalado: el uso desmedido y la dependencia creciente de los materiales no renovables, lo cual es peligroso para la sustentabilidad del hombre sobre la tierra en tiempos no demasiados lejanos.

#### **CONSIDERACIONES INSOSLAYABLES**

Ya se ha señalado que a pesar de las cifras alucinantes sobre el consumo de materiales, el mismo sigue creciendo año a año y su futura utilización depende de las reservas existentes. Los materiales que utiliza la industria son extraídos en su gran mayoría de la corteza terrestre. Esto permite definir una **reserva mineral** como “aquella parte de un depósito mineral conocido que puede ser extraída bajo condiciones legales y económicas correctas en el momento de determinación”. Las reservas son una noción económica y aumentan o mejoran de acuerdo a las condiciones técnicas, económicas y legales del momento. Una mejora

de las técnicas de extracción puede incrementar el nivel de reservas, mientras que una modificación en la legislación ambiental o cambios en el clima político puede reducirlas. La prospección, impulsada por la demanda, puede tener como consecuencia un aumento de las reservas. No se deben confundir reservas con recursos. Los **recursos** representan la cantidad total real de un material, incluyendo las reservas en curso como también todos los posibles yacimientos que podrían ser relevados como reservas por futuras prospecciones. Si bien los recursos son mucho más importantes que las reservas de un mineral, gran parte de ellos son inaccesibles con la tecnología actual y su evaluación está sujeta a grandes imprecisiones [1].

Otros dos elementos críticos para la extracción, producción, transformación y transporte de los materiales son **la energía y el agua**. A continuación se hace una breve referencia a ellos.

#### **a) Energía**

La energía está fuertemente asociada a la producción, transformación, transporte, utilización y reciclado de materiales. ¿Qué cantidad de energía consumimos? Datos del año 2016 indican que durante dicho año en el planeta se ha consumido aproximadamente 580 EJ ( $1\text{EJ}=10^{18}\text{J}$ ) y el consumo continúa aumentando [29]. El origen de la energía consumida es tal que la generación utilizando combustibles fósiles representa aproximadamente un 85% del total, la producción de energía nuclear representa un 5% y la hidráulica, eólica, fotovoltaica y otras conforman el restante 10%. Las reservas de energía de origen solar son enormes pero se encuentran dispersas. La generación eólica está en pleno desarrollo, siendo su mayor problema el almacenamiento y transporte.

## b) El agua

La industria también recurre a otro recurso natural: el agua. El agua es un recurso renovable al ritmo que lo permite el ecosistema. La demanda es creciente y las previsiones indican que el agua potable puede convertirse en un problema importante para más de la mitad de la población mundial, la cual podría encontrarse en situación de penuria a partir del año 2050. Recordemos que el 97% del agua terrestre corresponde a agua salada; menos del 1% al agua dulce y el resto es agua dulce aprisionada bajo la forma de hielo en glaciares de montañas y en las calotas glaciares polares. La agricultura es el consumidor más importante de agua dulce a escala mundial, utilizando más del 65% del agua disponible [30]. En algunos países industrializados, la industria puede llegar a ser el principal consumidor.

Las necesidades de agua para

los materiales y su transformación generalmente son medidas en forma directa a partir de las entradas y salidas de las fábricas. Un par de consideraciones [1]:

- En los materiales industriales, el orden de magnitud de la utilización de agua se extiende entre 10 l/kg a 1000 l/kg (o en forma equivalente kg/kg dada la densidad del agua). Un ejemplo: en la producción de acero, el agua se utiliza en la extracción de los minerales necesarios (mineral de Fe, calcáreos, combustibles fósiles), para el acondicionamiento de los materiales (supresión de polvos y basuras), el control de la polución (torres de lavado de gases emitidos) y el enfriamiento de instalaciones.

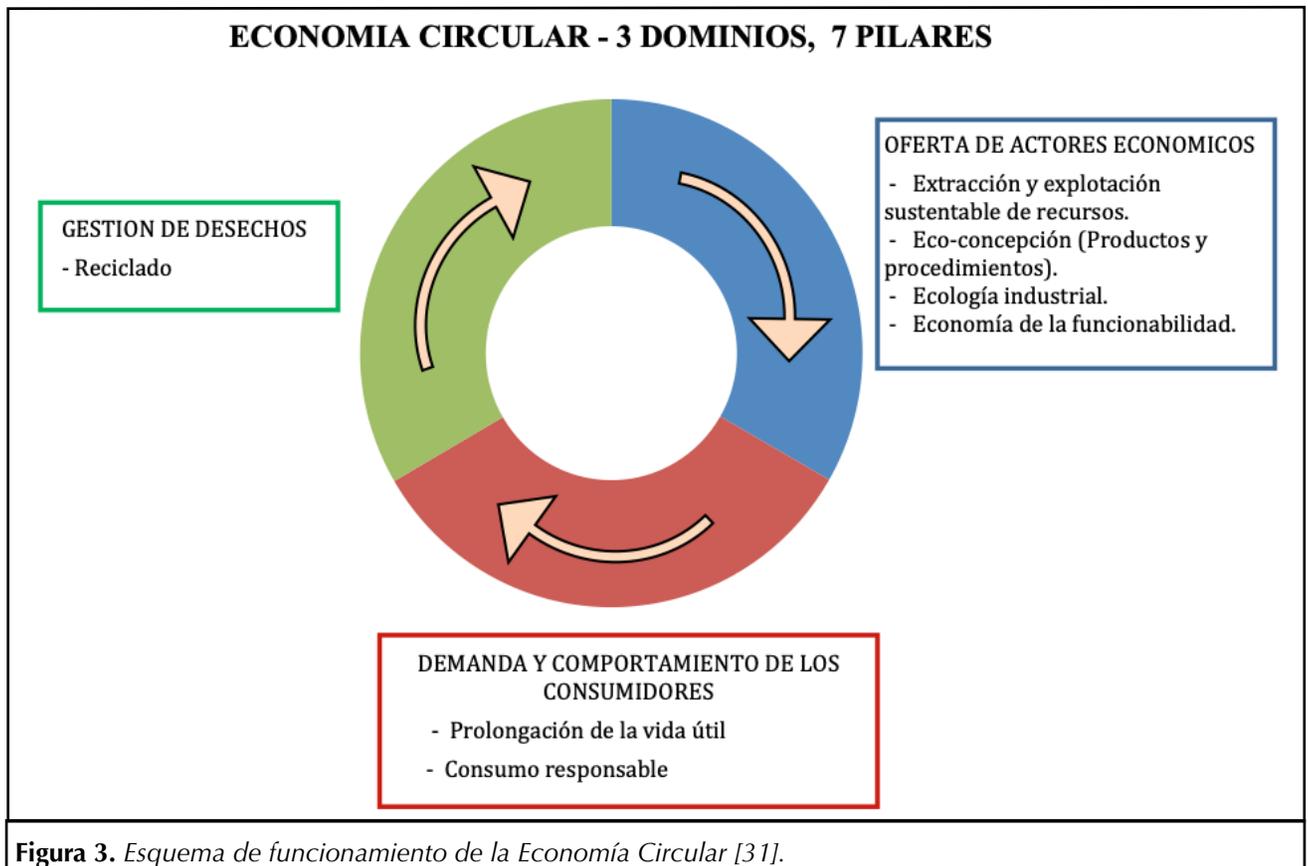
- En la generación de energía el agua se utiliza para el enfriamiento (con pérdidas por evaporación) y para la eliminación de basuras y lavado de gases. La producción de electricidad (generación térmica) que se distribu-

ye por la red requiere un consumo promedio de aproximadamente 24 litros por MJ.

El desarrollo de estos puntos permite concluir que el hombre es el gran demandante de energía y de recursos naturales. Esto puede llevar a serios problemas ambientales a escala planetaria. Por lo tanto, es necesario desarrollar conocimientos y procesos productivos que, además de brindar respuestas a demandas socioeconómicas, cumplan normas de cuidado ambiental (materiales tóxicos, residuos y emisiones contaminantes), las que llevan a la sociedad al terreno de la "producción utilizando tecnologías sustentables".

### ■ PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES

El objetivo N° 12 de desarrollo sustentable de las Naciones Unidas corresponde a "**Producción y Consumo Responsable**". En él se expre-



**Figura 3.** Esquema de funcionamiento de la Economía Circular [31].

sa que “El consumo y la producción sustentable consisten en fomentar el uso eficiente de los recursos y la energía, la construcción de infraestructuras que no dañen el medio ambiente, la mejora del acceso a los servicios básicos y la creación de empleos ecológicos, justamente remunerados y con buenas condiciones laborales. Esto se traduce en una mejor calidad de vida para todos y, además, ayuda a lograr planes generales de desarrollo, que rebajen costos económicos, ambientales y sociales, que aumenten la competitividad y que reduzcan la pobreza” [31].

El modelo socioeconómico de país en el cual el desarrollo se limita a extraer, producir, consumir y tirar (conocido como modelo lineal) no permite avizorar un futuro razonable para el mismo. Es necesario pasar a un modelo basado en el Objetivo de Naciones Unidas anteriormente citado. En dicho concepto se basa la llamada “**Economía circular**”, la cual se puede definir como “un sistema económico de producción e intercambio que, en todos sus estados del ciclo de vida de productos/ bienes/ servicios tiende a aumentar la eficiencia en la utilización de recursos y a disminuir el impacto sobre el medio ambiente manteniendo siempre el objetivo de bienestar para los ciudadanos” [32].

Como se ilustra en la Figura 3, el modelo de economía circular se basa en tres campos o dominios [33]:

- La producción y la oferta de bienes y de servicios
- El consumo a través de la demanda y del comportamiento del consumidor.
- La gestión de desechos con el reciclado como recurso priori-

tario que permite cerrar el ciclo económico.

La economía circular incluye como pilares (Figura 3):

- La **explotación/extracción sustentable de recursos**, limitando particularmente los desechos de explotación y el impacto ambiental de la producción energética y de minerales o de la explotación agrícola y de bosques tanto para los materiales/energías renovables como para los no renovables.

- La **ecoconcepción o ecodiseño**, que cubre desde la concepción de un proceso, de un bien o de un servicio hasta completar el conjunto de su ciclo de vida, minimizando los impactos medioambientales. Esto es un desafío para la estrategia productiva de las empresas. Por lo tanto, es crucial la inversión empresaria en la ecoconcepción.

- La **ecología industrial y territorial**, la cual tiene como objetivo optimizar la utilización de recursos sobre un territorio, sea en temas energéticos, aguas, materiales, residuos y también en equipamientos y “expertises”. Esto se realiza a través de una aproximación sistémica que se inspira en el funcionamiento de ecosistemas naturales.

- La **economía de la funcionalidad**, que privilegia la utilización a la posesión y tiende a vender los servicios asociados a los productos en lugar de los productos en sí mismos.

- El **consumo responsable**, el cual debe conducir al comprador, sea un actor económico público o privado, a efectuar su elección tomando en cuenta los impactos ambientales en todas las etapas del ciclo de vida de un producto, bien o servicio.

- La **prolongación de la duración**

**de vida por parte del consumidor**, que conduce a recursos como la reparación, la venta o la donación de un producto de ocasión, o bien la compra de ocasión en un marco de reutilización.

- El **reciclado**, el cual intenta utilizar las materias primas recuperadas de los desechos.

## ■ CICLO DE VIDA DE MATERIALES Y PRODUCTOS.

El **Análisis del Ciclo de Vida (ACV) o Life Cycle Assessment (LCA)** es una metodología de trabajo que toma en cuenta el impacto de todos los aspectos ambientales que ocurren a lo largo de la vida de un producto. Por lo tanto es un elemento básico de la Economía Circular. El ACV permite obtener información estratégica facilitando la toma de decisiones para poder diagramar un verdadero desarrollo sustentable. La realización, aplicación, comunicación y publicación de este tipo de análisis y sus herramientas específicas vinculadas, se encuentran homologados por la familia de normas ISO 14040, bajo el marco metodológico sistémico de Análisis de Ciclo de Vida; Huella de Carbono (ISO 14044; 14067; 14069), Huella Hídrica (ISO 14046), Ecoetiquetas (ISO 14025), entre otras, en continuo proceso de desarrollo y profundización desde el año 1996.

Un comentario importante: Si bien el desarrollo de estos temas tiene ya algunos años y existen cada vez más demandas globales de eco-etiquetado, tanto en Argentina como en muchos otros países no existen en la práctica valores de referencia de impacto ambiental para muchos procesos del sector energético y productivo. Tampoco los hay para productos estratégicos exportables, como es el caso de las “commodities” agropecuarias y de los produc-

tos agroindustriales. Además, entre países desarrollados y en vías de desarrollo pueden existir diferencias en las huellas ambientales que resultan de la existencia de estructuras productivas y tecnológicas disímiles, las que pueden llegar a desequilibrar los términos comerciales entre dichas partes. Existe entonces la imperiosa necesidad a nivel nacional de validar y adecuar en forma consensuada interinstitucionalmente los desarrollos metodológicos a fin de proporcionar información ambiental consistente para nuestros productos, que sirva además como referencia en los inventarios internacionales [34].

La Figura 4 presenta el esquema típico asociado al ACV de un producto:

- El ciclo de vida del producto comienza con el ingreso de las materias primas y la energía y la salida de los recursos naturales del planeta transformados en materiales.

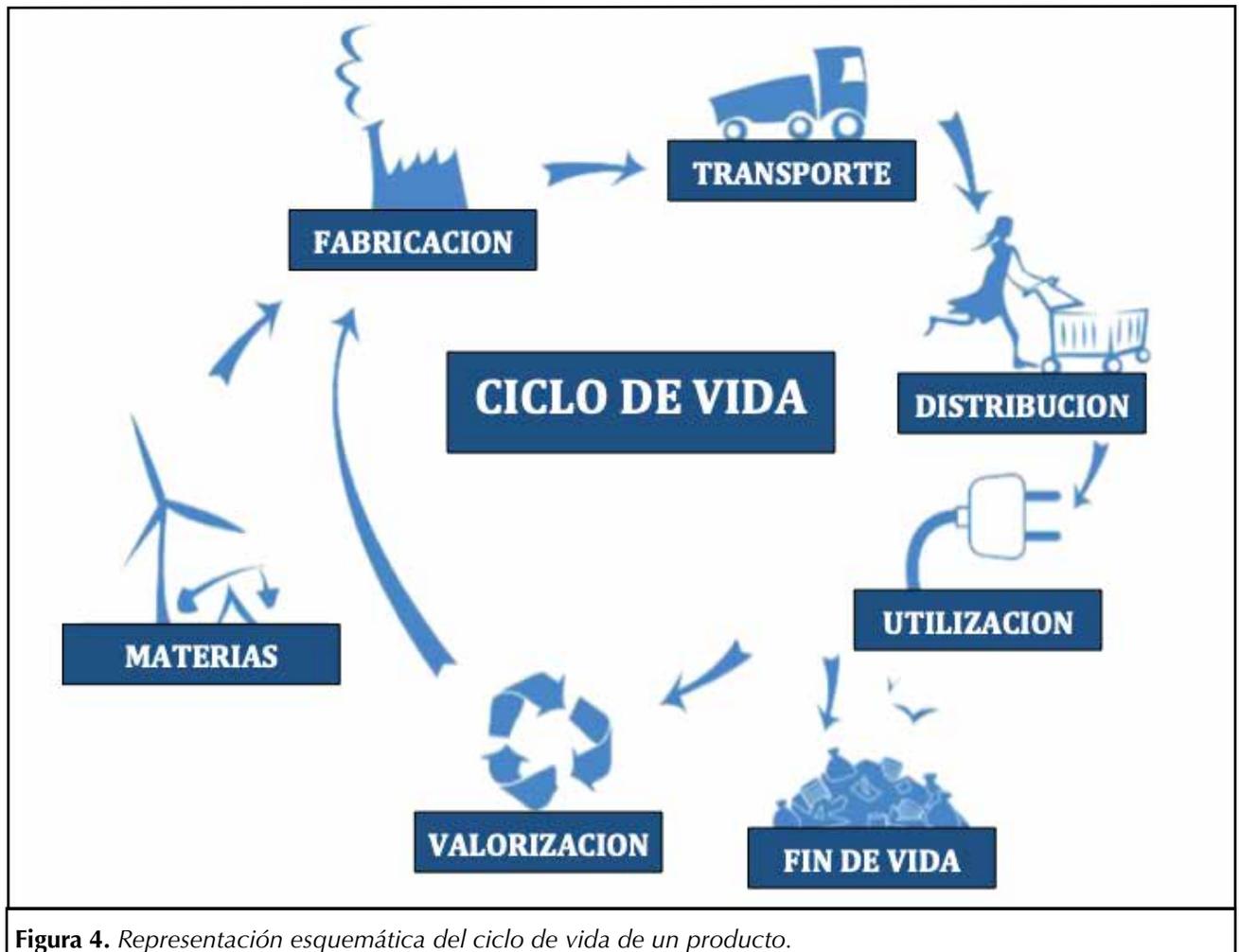
- Ellos son posteriormente transportados y utilizados en la fabricación de productos.

- Los productos son distribuidos, vendidos y utilizados.

- Los productos tienen una vida útil al final de la cual son desechados. Una fracción de estos materiales puede entrar en un circuito de reciclado o de reutilización, el resto estará destinado a la incineración o a su disposición final. Cuanto más grande es la fracción de materiales que entran en el circuito de reciclado o de reutilización, mayor es la

aproximación al concepto de economía circular.

En cada etapa o fase de este ciclo se consume energía y materiales que se obtienen de los recursos naturales. Este consumo va acompañado generalmente de emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), de óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ) y de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), junto con otras emisiones bajo la forma de calor a baja temperatura y también con la producción de desechos gaseosos, líquidos y sólidos. A bajas concentraciones, la mayor parte de las emisiones podrían ser inofensivas, pero en la medida que sus cantidades se adicionan, ellas se pueden transformar en peligrosas, particularmente si la suma de todos los subproductos indeseables excede la capacidad de absorción del medioambiente [1].



**Figura 4.** Representación esquemática del ciclo de vida de un producto.

La aplicación de herramientas como el ACV permite producir información sobre:

1. Origen y cuantificación de los recursos materiales y energéticos utilizados en el ACV.
2. Uso del bien o servicio, mejoras en el desempeño en eficiencia energética y evaluación de alternativas de abastecimiento ambientalmente óptimas.
3. Cuantificación y definición de opciones para el tratamiento, recuperación, reciclado y/o disposición final de residuos.
4. Diseño de productos y servicios concebidos para ser desensamblados, maximizar su duración, reutilizar piezas y componentes.
5. Huellas ambientales: los procesos de producción, packaging, transporte, uso o disposición final del producto evaluado impactan en el medio ambiente a lo largo de su ciclo de vida.
6. Aspectos sociales, económicos y legislativos en la cadena de valor de un bien o servicio.
7. Valor de la utilización de materiales sustentables, su conveniencia y desempeño estudiados con base científicas comparables.

Evidentemente, toda esta información habilita a la posterior realización de tareas de ecoconcepción o ecodiseño (o bien a mejoras del mismo) de productos sustentables y competitivos a nivel internacional.

#### ■ REALIZACIÓN DE UN ACV: OBJETIVOS, ALCANCES, DETALLES Y DIFICULTADES.

La realización de un ACV de un

producto se podría resumir en la posibilidad de brindar posibles respuestas a las siguientes preguntas [1]:

- **Objetivo y alcance del ACV:** ¿Cuál es el objetivo del estudio y cuál es la etapa de la vida de un producto a ser estudiada, o sea donde comienza y donde termina?

- **Inventario:** ¿Cuáles son los recursos consumidos y las emisiones producidas?

- **Análisis de impacto:** ¿Cuáles son los efectos sobre el medioambiente (o huellas ambientales) de cada una de las etapas involucradas en ACV? En particular: ¿cuáles son los efectos nefastos?

- **Interpretación:** Qué significan los resultados y qué se puede hacer por la mejora del producto?

#### OBJETIVOS Y ALCANCES

Los alcances de un ACV difieren en función de los objetivos del estudio. Hay casos donde se analiza lo que ocurre en una dada etapa ignorando lo que ocurre en las otras etapas. En otros casos el objetivo es un enfoque más amplio y racional que intenta analizar el consumo de recursos y las emisiones asociadas al producto durante toda su vida útil (o "de la cuna a la tumba"). Sin embargo es esencial no olvidar esta "regla de oro": **no perder la visión global del problema.** Una acción sobre una fase podría tener como consecuencia el aumento del consumo de recursos y/o de las emisiones por parte de las otras fases.

#### INVENTARIO

Esta acción corresponde a la realización de un inventario por unidad producida del flujo de recursos que entran en el sistema y del flujo de

emisiones que salen. El inventario detalla la lista de recursos consumidos y de emisiones por unidad funcional. Igualmente, hay que decidir el nivel de detalle -o de resolución- del análisis. Una importante discusión es el alcance del inventario, o sea, a qué nivel hay que detener la inclusión de componentes para no complicar inútilmente el ACV. Esta toma de decisiones es muy delicada. Como ejemplo, en el caso de materiales electrónicos, la carga ambiental derivada de la producción de componentes electrónicos es alta a pesar de la baja cantidad de material utilizado [35].

Si se toma como ejemplo la identificación de los principales recursos utilizados y de los desechos eliminados en el caso de un lavarropas se encuentra que entre los materiales que lo componen existe en promedio aproximadamente un 50% de acero inoxidable, 17% de plásticos, 4% de aluminio, 3% de vidrio y cobre [36]. Tanto en la elaboración de los materiales como en la fabricación del producto se utiliza energía proveniente de combustibles (fósiles y/u otros), con emisiones asociadas de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> y calor a baja temperatura. La fase de utilización consume fundamentalmente agua y energía. Los desechos están constituidos por agua contaminada con detergentes. El final de vida es típico del equipamiento de la llamada "línea blanca", el cual incluye materiales para reciclado y de desecho. En el análisis se debe considerar el transporte de materiales, del lavarropas, de materiales reciclados y desechos.

#### ANÁLISIS DE IMPACTO E INTERPRETACIÓN

El inventario brinda una lista de recursos consumidos y de emisiones, pero éstas no tienen una nocividad semejante, algunas son más

importantes que otras. Las diferentes categorías de impacto comprenden: **el agotamiento de recursos, el potencial de recalentamiento climático, la desaparición del ozono, la acidificación, la eutrofización, la toxicidad para el hombre** y otras. Cada impacto es calculado multiplicando la cantidad de cada uno de los elementos del inventario por un factor de impacto, el cual mide la contribución de un elemento dado a cada una de las categorías de impacto [1]. La metodología de trabajo y la realización del análisis del impacto requieren importante esfuerzo y tiempo. Existe software especializado que ayuda a la realización del estudio.

#### **OTRAS CONSIDERACIONES IMPORTANTES EN UN ACV**

Algunas de las consideraciones más importantes que se deben hacer al realizar un ACV son:

##### **a) Perfil energético del país productor**

La electricidad es la forma de energía más cómoda y la mayor parte de la que se utiliza en el planeta y mayoritariamente se produce quemando combustibles fósiles. La emisión asociada a este proceso y los problemas asociados incitan a los gobiernos a utilizar fuentes energéticas menos contaminantes (renovables, nuclear) para la producción de energía eléctrica. Esto lleva a definir el perfil energético de un país (porcentaje de cada fuente de energía al total producido), que pueden diferir de un país a otro. A modo de ejemplo, Australia utiliza casi un 90% de combustible fósil y Francia posee un 76% de generación nuclear. El perfil energético argentino correspondiente al año 2017 está conformado en un 60% por electricidad de origen termoeléctrico en base a gas natural; 30% hidroeléctrico; 4 % termoeléctrico

en base petróleo; 5% nuclear y un 1% de fuentes renovables [37]. La emisión estimada de CO<sub>2</sub> es de 0,344 kg/kWh, la cual es baja en el orden global [38].

##### **b) Características del transporte**

La materia prima o los productos puede ser transportados por diferentes medios a través de distancias que pueden ser cortas o bien de varios miles de km. El consumo de energía y la emisión de CO<sub>2</sub> para desplazar entre dos puntos una dada carga difiere en función del medio de transporte utilizado (camión, tren, avión, barco, etc) y también del modelo del medio utilizado (potencia, peso, consumo, emisiones, etc). Este punto, junto al aspecto comercial (cómo juega el costo del transporte en la competencia en el mercado) puede llegar a ser importante en los resultados de un ACV [39].

##### **c) Energía consumida en la utilización de un producto**

Numerosos productos consumen energía durante sus vidas útiles. En algunos de ellos el mayor consumo se produce en la etapa de utilización (electrodomésticos, automotores, etc). Una parte de esa energía deriva de combustibles fósiles primarios y otra parte (la mayor) proviene de la conversión de este tipo de energía en energía eléctrica. En este caso, el perfil energético de un país también juega un rol importante. Obsérvese que, de acuerdo a lo discutido anteriormente en el punto a), llevar a hervor un litro de agua usando una pava eléctrica no utilizaría la misma energía en equivalente petróleo ni se produciría la misma emisión de CO<sub>2</sub> en Australia, en Francia o en Argentina.

##### **d) Final de vida de un producto**

El final de vida de un producto

está dictado por el hecho de que el mismo ya no posee ningún valor económico. Según Ashby [1], esto puede ser consecuencia de haber llegado al límite de:

- La duración de vida física (la reparación es imposible en condiciones económicas aceptables).
- La vida funcional (ya no es necesaria su utilización).
- La vida técnica (los avances tecnológicos hicieron obsoleto al equipamiento).
- La vida económica (la tecnología ofrece otros productos que realizan la misma función a un costo sensiblemente inferior).
- La vida legal (nuevas normas, directivas, leyes o restricciones que hacen inutilizable al producto).
- El interés por parte de la sociedad de consumo. Un producto puede perder su interés por cambios de gustos, modas, preferencias estéticas, etc.

Las opciones para el fin de vida de los materiales son varias:

- Enviar el material a la descarga de basura.
- Si el material es combustible, incinerarlo produciendo una recuperación de energía en forma de calor (¡no se eliminan las emisiones!).
- Realizar el reciclado de materiales, previa separación y clasificación de los mismos, para reintroducirlos en el ciclo de producción. Este es un tema extenso, con improntas tecnológicas, económicas y sociales de singular importancia cuando se trata del reciclado de materiales metálicos, polímeros, cerámicos (vidrios, ladrillos, asfalto, etc) y materiales

como el cartón, la madera y el papel.

- Reacondicionar los productos (reparación o renovación del mismo, o recambio de ciertas piezas que han sufrido degradación mecánica y/o corrosión entre otros problemas) y reutilizarlos (se lo conoce también como "Extensión de vida útil").

- Reutilizar los productos. Esto significa redistribuirlos en sectores de consumos que aceptan utilizarlos voluntariamente en el estado en que se encuentran (caso típico: un vehículo usado).

Para estas etapas, cuentan las normas establecidas en cada país, la verificación del cumplimiento de las mismas y también la educación ambiental que recibe la población.

Sin duda alguna, reducir el consumo de recursos implica prolongar la vida útil de los productos, hacerlos más durables. El ciclo de vida de la economía circular enfatiza que el fin de vida de un producto no debe ser visto como una fuente de desechos, que los hay, sino como un recurso. El listado anterior de posibilidades de fin de vida de un material pone de manifiesto que, en todos los casos citados, la adecuada selección de los materiales puede llegar a jugar un rol muy singular.

### SIMPLIFICACIÓN DEL ACV

A pesar del formalismo riguroso asociado a los métodos de ACV, los resultados pueden poseer una considerable incertidumbre, en particular en la etapa de fabricación. La pregunta es: ¿qué hace con todas las cifras asociadas al ACV quien diseña un producto? Quien lo hace debe manejar múltiples decisiones interdependientes asociadas a la concepción del mismo, encontrándose muchas veces presionado por factores

de diseño, tiempo y economía. Evidentemente se encuentra con una situación difícil para sacar el mejor partido de este tipo de información.

Para una utilización más eficiente de la información, muchas veces se prefiere la opción de concebir un producto basándose en un par de variables medibles como lo son la energía consumida y la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, al cual se lo considera como el contaminante más significativo para seguir los cambios medioambientales [1] [38]. Un par de ejemplos: a nivel nacional, los gobiernos prestan atención a la reducción del consumo de energía y de la emisión de CO<sub>2</sub>; a nivel comercial los automóviles y camiones ofrecen datos sobre consumo y la emisión de CO<sub>2</sub>; en el caso de los electrodomésticos se presentan diferentes niveles de performance energética en función de esta emisión (etiquetado ambiental). Estos datos son una referencia relativa a la etapa de utilización de un ACV.

### ALGUNOS RESULTADOS DE ACV PARA ELEMENTOS DE LA VIDA COTIDIANA.

#### - Electrodomésticos:

Para los electrodomésticos el mayor costo ambiental está asociado a su utilización. En el caso de una pava eléctrica corriente de 2 kW de potencia y de uso cotidiano durante 4 años, el balance energético muestra que los materiales, la fabricación y el transporte representan poco más del 10% del consumo energético a lo largo de la vida útil de la pava. La energía consumida en su utilización representa el consumo energético más importante. Igualmente ocurre con la emisión de CO<sub>2</sub>, valores que además estarán influenciados por el perfil energético del país donde se la utilice. Al final de vida de la pava, el costo de desecharla es despreciable.

En Argentina, la Resolución 319/99 establece la obligación de certificar el cumplimiento de las normas relativas al rendimiento o eficiencia energética para quienes fabriquen, importen, distribuyan y comercialicen artefactos eléctricos de uso doméstico en la Argentina. Asimismo, también establece que se deberá colocar en los mismos una etiqueta en la que se informe el rendimiento o eficiencia energética.

#### - Artefactos solares y eólicos:

Tanto en la producción de energía como en el caso de artefactos que funcionan directamente con energía solar, no existe consumo energético ni emisiones de CO<sub>2</sub> durante la utilización de los mismos. La contribución a la huella ambiental provendrá de los materiales utilizados, su transporte, su producción, embalaje, distribución para la venta y, aunque muchas veces es bajo, sobre el mantenimiento de estos equipos. No hay suficiente información sobre el reciclado de estos materiales.

#### - Teléfonos celulares y otros dispositivos electrónicos:

Cada vez existen más teléfonos celulares. Estadísticas muestran que entre los años 2007-2017 se han producido más de 10<sup>9</sup> unidades. A lo largo de su ciclo de vida (extracción de materias primas, fabricación, transporte, utilización y final de vida) un teléfono celular tiene impacto sobre el medioambiente, a los cuales se agregan importantes impactos sociales y también sanitarios. La construcción de un teléfono celular requiere más de 70 materiales diferentes entre plásticos, materiales sintéticos, metales y cerámicos, Figura 5. Los principales efectos ambientales son el agotamiento de recursos naturales y la producción de emisiones tóxicas al medioam-

biente y la emisión de CO<sub>2</sub> [41].

La fabricación de un teléfono celular (de la extracción de minerales al ensamblaje final) es responsable de casi el 75% de los impactos, los que en gran parte son imputables a la pantalla y a la producción de componentes electrónicos complejas. Algunas etapas de la producción como la fabricación de microprocesadores consumen importantes cantidades de energía, agua y productos químicos. Más aún, las componentes electrónicas del celular contienen sustancias que pueden tener un

efecto adverso sobre la salud humana y ambiental si no son cuidadosamente gestionadas al final del ciclo de vida del producto [35].

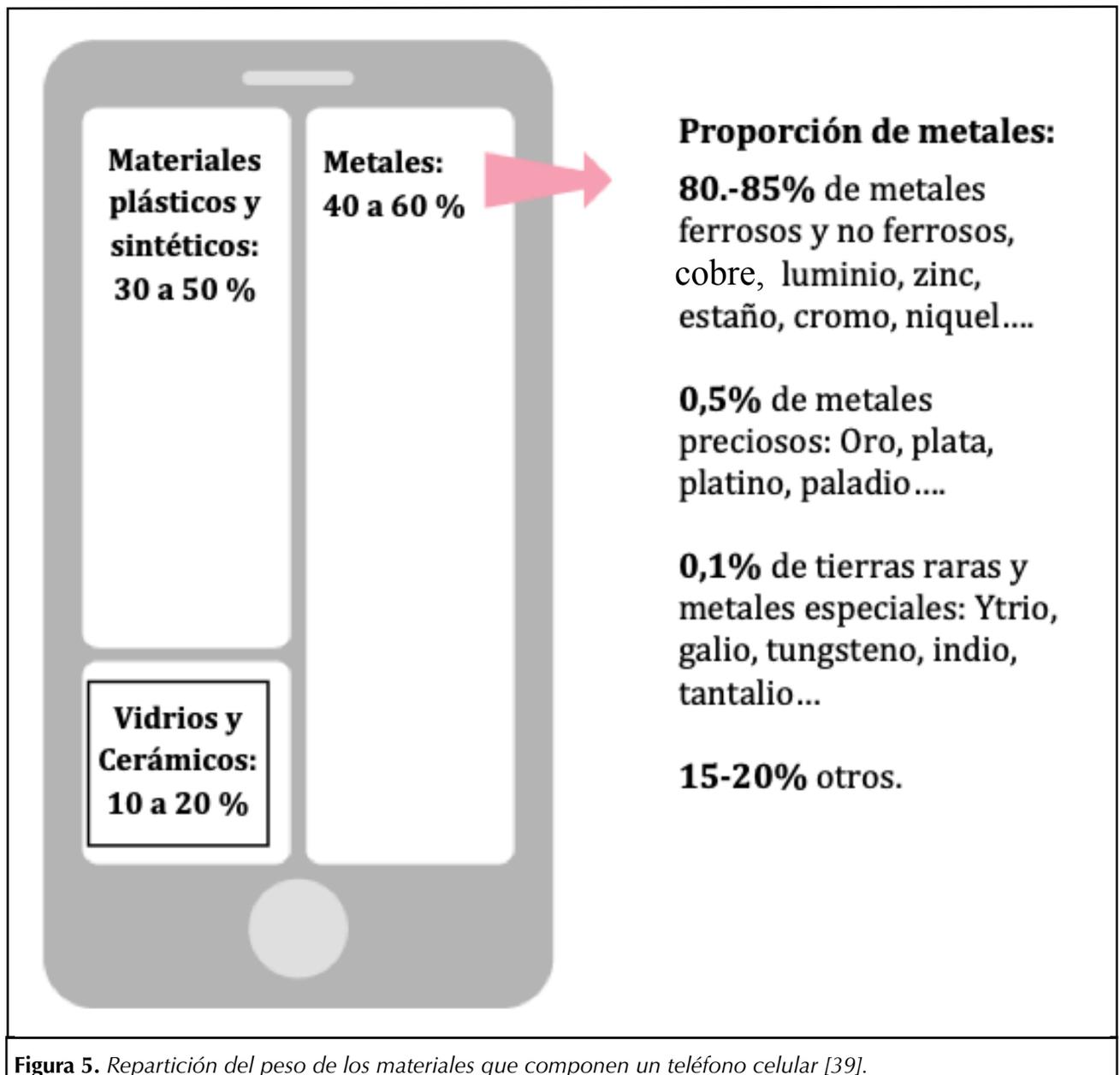
La distribución y la utilización del celular poseen menor impacto ambiental. Estos están asociados a la energía consumida por el transporte y la producción de electricidad. El final de vida tiene un impacto variable en función del reciclado o no del teléfono celular.

Los resultados de este análisis pueden extenderse a otros produc-

tos electrónicos utilizados para las comunicaciones, la informática y el entretenimiento.

#### - Construcciones:

La construcción de obras públicas y privadas tiene su mayor costo ambiental en la obtención de los materiales de construcción y también en el mantenimiento de las mismas. La elección de materiales con un alto contenido de energía incorporada implica un alto consumo inicial de energía en la etapa de construcción del edificio y tam-



**Figura 5.** Repartición del peso de los materiales que componen un teléfono celular [39].

bién determina el futuro consumo de energía para cumplir en la etapa de utilización con las demandas de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire. El impacto de los materiales de construcción puede ser reducido significativamente promoviendo el uso de mejoras en las técnicas constructivas existentes y de la eco-innovación a partir de la mayor utilización de nuevos materiales. En viviendas populares, se utilizan algunos materiales compuestos producidos a partir de residuos generados en otros procesos productivos, los que favorecen la aislación térmica e impiden el paso de la humedad [42]. El mantenimiento de las construcciones, que es una tarea a largo plazo puede ser importante, particularmente en relación a la utilización de energía eléctrica en edificios públicos y comerciales.

#### **- Automóviles y otros vehículos automotores de utilización regular:**

Si bien existe un costo ambiental para la producción del vehículo: materiales, producción, transporte, fin de vida y reciclado, el mayor consumo energético y de emisiones de energía está asociado a su utilización, particularmente al consumo de combustible. En el caso de transporte de cargas, en la Unión Europea existen importantes regulaciones, particularmente sobre emisiones de CO<sub>2</sub>, que son de aplicación paulatina en todo el ámbito de la región [39]. La evolución del vehículo eléctrico y robotizado implicará menor consumo de combustible fósiles y una baja de las emisiones atmosféricas a nivel global.

#### **ESTUDIO DE CASO: LA BOTELLA DE AGUA MINERAL**

La decisión de estudiar el ciclo de vida de una botella de agua mineral de 2 l, producida en PET con

tapón de PP, las cuales son muy comunes en Argentina, se basa en el impacto ambiental de la misma. Este está asociado a la cada vez más importante cantidad de botellas que se utilizan en el planeta para envasar agua y gaseosas. Algunos datos:

- En todo el mundo se compran más de un millón de botellas de plástico por minuto y el número puede aumentar en un 20% para 2021 [43]. La mayoría de las botellas de plástico utilizadas para agua y refrescos están hechas de PET, que es fácilmente reciclable. Sin embargo, se estima que a nivel mundial solo se recicla alrededor del 9% de los desechos plásticos; se incinera un 12% y el resto se deposita en vertederos o en la naturaleza [44].

- Hay estudios que indican que 12 millones de toneladas de plásticos terminan anualmente en el mar [45]. Solamente un bajo porcentaje de estos plásticos se recupera. Esto es una clara evidencia del efecto acumulativo de los plásticos como desecho.

Siguiendo la metodología propuesta por M. Ashby para el estudio del ACV simplificado [1], los datos necesarios para el estudio son:

a) **Características del producto:** agua mineral (la del osito en la etiqueta, por ejemplo) que se vende en botellas de PET de 2 litros con tapones en polipropileno (PP). Cada botella pesa 36,5 g y el tapón 1,5 g [46] y ambos son producidas utilizando moldeo por inyección. Las botellas se llenan con agua mineral en la región de Mendoza y son transportadas aproximadamente 1.100 km en camión hasta Buenos Aires. Para no tener complicaciones con la logística de distribución en la ciudad se agregan (en promedio) unos 30 km de transporte. Parte de

las botellas se entregan en un supermercado donde se venden al por menor a los consumidores. Para realizar un rápido ACV se considera como unidad de cuenta 100 botellas y que las botellas compradas por los consumidores son generalmente conservadas en promedio un par de días en sus heladeras antes de ser utilizadas. Se supone en forma aproximada que todas las botellas ocupan un volumen total de aproximadamente 1 m<sup>3</sup> de espacio refrigerado en las heladeras familiares. La política de desecho y reciclado por parte de los consumidores se discute posteriormente. El contenido de agua mineral en las botellas debe ser considerado para las etapas de transporte y utilización. Esto hace un peso total de 203,8 kg para las 100 botellas.

b) **Materiales:** se deben presentar los materiales utilizados como materia prima, los contenidos en energía (MJ/kg) y la emisión de CO<sub>2</sub> (kg/kg) por unidad de masa asociados a la obtención de cada material utilizado (PET y PP en este caso). Estos valores corresponden a la media geométrica de los valores extremos que se encuentran en tablas de perfiles tecnológicos, económicos y ambientales de materiales [1]. La suma de los correspondientes a los valores unitarios de la energía y de la emisión de CO<sub>2</sub> multiplicados por la masa de cada elemento utilizado corresponderán al contenido total en energía y a la correspondiente emisión de CO<sub>2</sub> asociada de los materiales para la producción de las botellas.

c) **Fabricación del producto:** generalmente se pone énfasis en los procedimientos primarios

de producción (en este caso inyección). En forma similar al punto anterior se utilizan aquí las energías y emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la transformación del material en botellas y tapones.

d) **Transporte:** aquí hay que considerar la energía y las emisiones asociadas al transporte desde Mendoza a Buenos Aires (1.100 km) y la distribución (30 km). En este caso los valores corresponden a un camión diesel con

peso total (tara + carga) de 40 tn: consumo energético de 0,46 MJ/(tn.km) y emisión de 0,083 kgCO<sub>2</sub>/(tn.km) [3] [47] .

e) **Utilización del producto:** se consume energía para refrigerar las botellas de PET durante un período promedio de dos días a 4 °C.

f) **Final de vida:** se acepta que la utilización de un producto reciclado implica un menor consumo de material virgen, lo cual

significa un crédito en energía y en carbono. Para reflejar ese crédito, los valores de la energía de reciclaje y de emisión de CO<sub>2</sub> se consideran como negativos en el balance del ciclo de vida.

g) **Reciclado:** en Argentina se reciclan 225.000 toneladas de plástico por año, lo que equivale al 24% del material disponible, según las cifras de la industria esto significa desconocer el destino del 76% restante. Po-

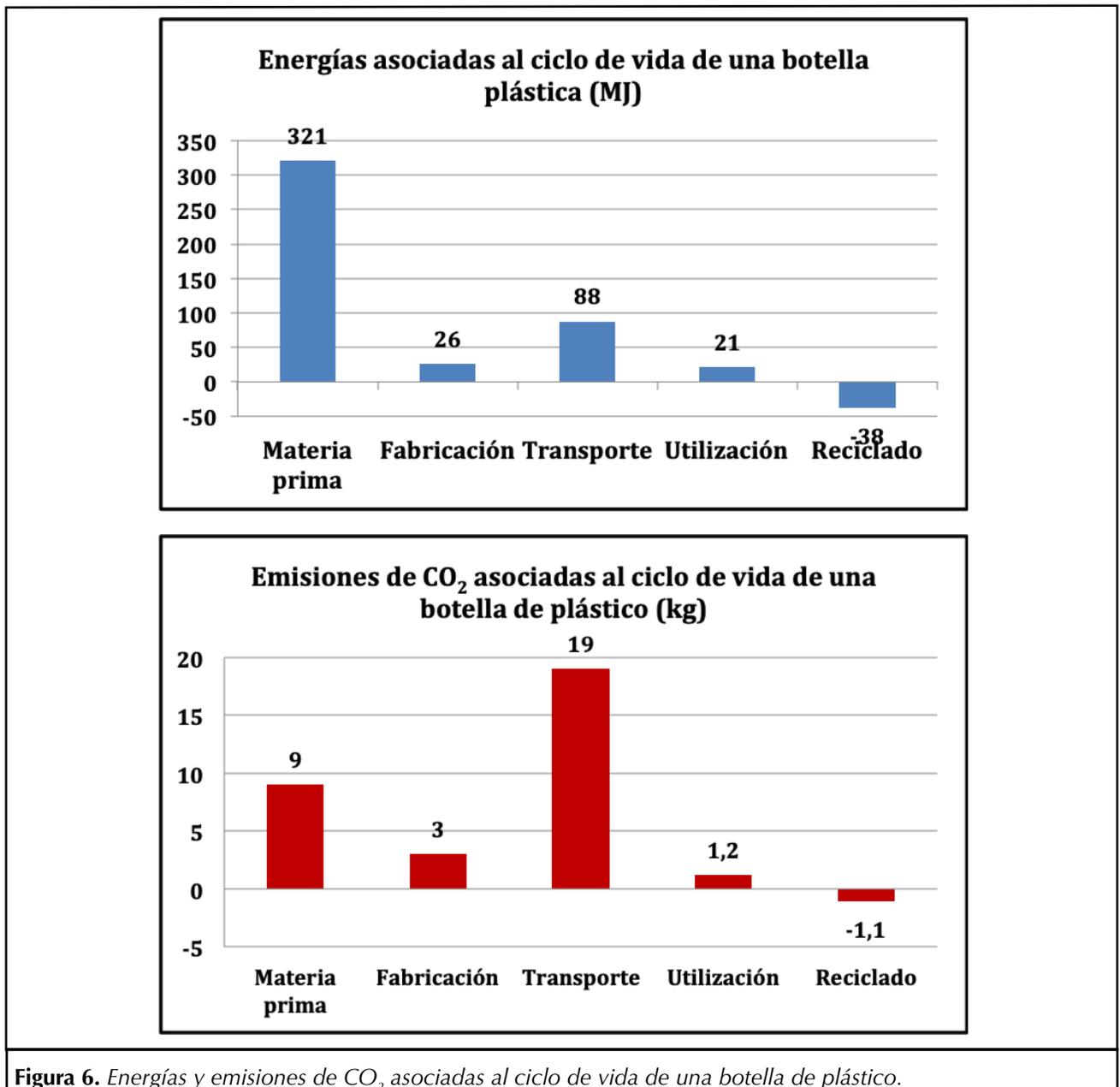


Figura 6. Energías y emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al ciclo de vida de una botella de plástico.

siblemente van con la basura domiciliaria hacia los rellenos sanitarios, aunque buena parte termina en el ambiente. La Ciudad de Buenos Aires generó, en 2015, poco más de 143.000 toneladas de residuos plásticos, según un informe elaborado por la Facultad de Ingeniería de la UBA. De esos residuos, el PET representaría aproximadamente un 13%. Es difícil de tener un dato preciso sobre la fracción de volumen de botellas recicladas en la ciudad de Buenos Aires, se toma entonces como valor aproximado un 20% de las botellas de agua [48-49].

La Figura 6 presenta los resultados a lo largo del ciclo de vida. Se observa que:

- La mayor contribución al consumo de energía proviene de la elaboración del polímero utilizado en la fabricación de botellas (70% del total), le sigue el transporte (% del valor total).
- El transporte del agua mineral envasada representa el mayor valor de emisiones de CO<sub>2</sub> (del total) y duplica a las emisiones asociadas a la producción del material (28%). Este dato es preocupante pues es un indicador de producción de emisiones por "transportar agua", pero el mercado demanda el producto por sus propiedades y calidad.
- La producción de la botella y la refrigeración no presentan valores de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> inquietantes frente a los ya señalados.
- Es preocupante el bajo porcentaje de reciclado y también en la cantidad de botellas recicladas, lo cual puede fluctuar anualmente en función de variables

socioeconómicas [46]. En este caso, la baja cantidad de material reciclado no ayuda significativamente a la baja del valor del costo energético (- y de la emisión de CO<sub>2</sub> (-4%).

Otras preguntas que se podrían formular son: ¿existe un polímero menos "goloso" en energía que el PET? ¿Se podría mejorar el porcentaje de reciclado? ¿Qué se podría hacer para facilitar el reciclado de botellas? Por ejemplo: dar un pequeño descuento al consumidor que devuelve los envases de plásticos al comerciante y éste se transforma en un facilitador de reciclado. En el próximo punto se vuelve sobre estos temas. En el caso estudiado queda otra pregunta: ¿no debería existir un servicio ferroviario eficiente para el transporte de cargas que reduzca el costo energético y de emisiones? En este caso la respuesta es política, pues la técnica es obvia.

#### ■ **ECODISEÑO DE PRODUCTOS – SELECCIÓN DE MATERIALES.**

El diseño de un producto amigable con el medioambiente requiere identificar la demanda en energía y las emisiones de las fases de la vida del mismo a través del ACV. Comenzando por las fases dominantes del análisis, se deben proponer posibles elecciones alternativas e innovadoras del diseño de un producto y de los materiales a utilizar, dando origen al llamado **Ecodiseño**. Muchas veces puede ocurrir que una de las fases del ACV sea la dominante y la diferencia es tan neta que las imprecisiones de los datos o las ambigüedades de modelización no afectarán el análisis. En este caso, lo lógico es concentrarse en ella.

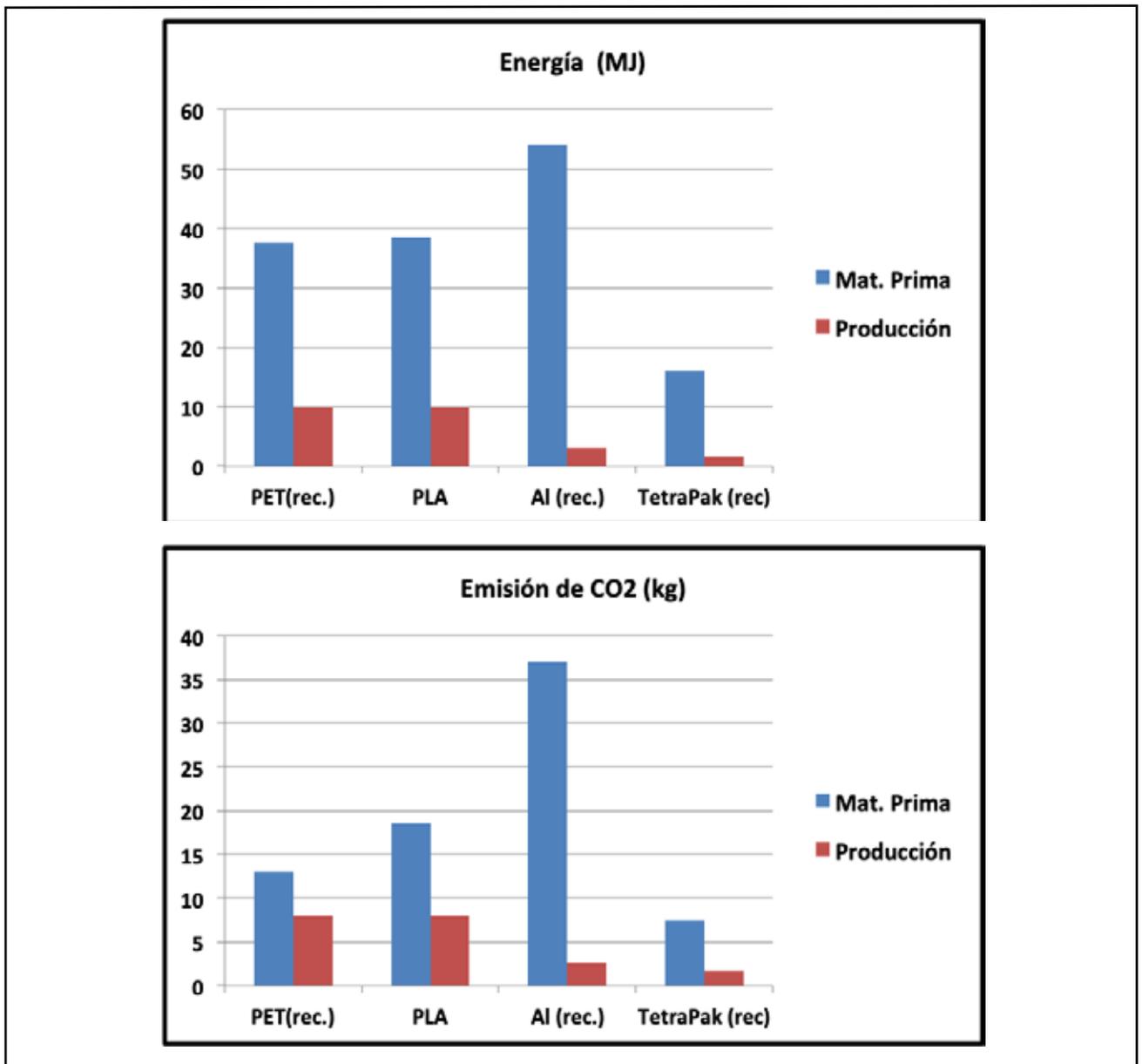
La estrategia de selección de materiales es fundamental para el ecodiseño. La misma debe combinar los resultados del ACV con un costo de

producción aceptable y una precisión suficiente para guiar la toma de decisiones. Recordemos que el tratamiento de estos problemas requiere tanto de los datos de las propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas y químicas de los materiales, como los datos sobre sus características medioambientales (energía consumida en procesos, toxicidad, reciclabilidad, etc). Ejemplos simples: si la fase de elaboración de un material es la que presenta problemas, la selección del material debería basarse en la minimización del contenido en energía o en las emisiones asociadas; si el problema se presenta en la fase de utilización, la base de la selección podría basarse en la minimización del peso del producto, las propiedades mecánicas, la performance de un aislante térmico o de un conductor eléctrico. Todo esto define los objetivos de optimización que deben verificarse sin olvidar las otras limitaciones que puede imponer el diseño de un producto. Las limitaciones generalmente son múltiples y, a veces, también pueden ser contrapuestas, lo que lleva a la aplicación de criterios de compromiso en la estrategia a desarrollar para la selección de materiales [1].

Además de las estrategias de selección de materiales, existen también algunas "Reglas de Oro" para las tareas de ecodiseño [50] que no deben olvidarse. Si bien ellas están relacionadas con los procesos industriales, los materiales a utilizar y el impacto ambiental de los mismos, las reglas son muy genéricas y deben transformarse y adaptarse para su uso real en la tarea de desarrollo de productos. Algunas de las más generales e importantes son:

- No utilizar sustancias tóxicas y organizar circuitos cerrados para el uso de aquellas sustancias que son necesarias pero tóxicas.

- Minimizar el consumo de energía y de recursos en:
    - la producción y el transporte a través de la gestión interna de la empresa,
    - la fase de utilización, especialmente para aquellos productos que presentan en ella sus aspectos ambientales más significativos.
  - Promover una larga vida útil de los productos, especialmente para los que presentan aspectos ambientales más significativos fuera de la fase de uso.
  - Utilizar en lo posible pocos materiales y simples.
  - Utilizar materiales con características estructurales que permitan minimizar el peso del producto, sin interferir con la flexibilidad necesaria, la resistencia al impacto o en sus prioridades funcionales.
  - Utilizar los mejores materiales, los tratamientos de superficie o los arreglos estructurales necesarios para proteger productos que enfrentan situaciones de oxidación, corrosión y/o desgaste.
  - Programar anticipadamente la actualización, la reparación y el reciclado del equipamiento.
- Estudio de caso: Selección de materiales para envases para agua y gaseosas.**



**Figura 7.** Energía y emisión de CO2 asociada a la obtención de materia prima y producción de envases.

Se vuelve aquí a un problema emblemático que ya se comenzó a analizar: la selección de nuevos materiales para envases similares a la botella de PET. Este tema es muy importante pues, como se comentó anteriormente, los envases (botellas y otros desechables) representan unos de los grandes problemas medioambientales actuales ya que ellos son duraderos y no forman parte de ningún ciclo natural.

La pregunta del diseñador es cómo elegir materiales de "packaging" amigables con la naturaleza y alternativos al PET. El ACV simplificado presentado para el PET utilizado en envases indicó que se debía poner atención en la selección del material, ya que su producción era el punto predominante en el consumo energético e importante en la emisión de carbono. A continuación se profundiza este tema en base a los resultados de un estudio realizado en la Universidad de Cambridge que compara cuatro materiales para envases de agua mineral [51]. Los materiales considerados en el estudio citado son para envases de 0,5 l:

- PET con tapa de PP,
- un polímero biodegradable PLA con tapa de PP,
- un Tetra Pak,
- una lata de Aluminio (envase de 0,375 l).

El estudio no consideró la botella de vidrio tradicional que puede ser lavada y reutilizada varias veces antes de ser enviada al reciclado del material. Aquí se recuperan algunos resultados que brindan elementos para la selección de materiales, poniendo énfasis en las etapas del ACV de la producción de materiales y de los envases como así también de su reciclado.

En la Figura 7 se puede observar que el Al requiere el mayor uso total de energía y posee la mayor huella de CO<sub>2</sub>. La lata de Al, construida utilizando una fracción reciclada (42,5%) del suministro industrial típico, tiene una huella de CO<sub>2</sub> mayor que la de las otras opciones. El Al puede ofrecer grandes beneficios de su reciclaje, ya que la producción de un 1 kg de Al reciclado requiere 85-90% menos de energía y produce solamente un 5-10% de emisión de CO<sub>2</sub> que la producción de Al virgen [52]. Si se pudiesen reciclar valores más cercanos al 100% del Al utilizado, la huella de CO<sub>2</sub> se reduciría a valores por debajo de la huella actual del PET y sería comparable a la del Tetra Pak, Figura 7. La industria europea de envases de aluminio informa que, en ciertos casos, se está obteniendo una tasa de reciclado del orden del 70% para las latas de bebidas [53].

La opción Tetra Pak es óptima por estar hecha de material reciclado y renovable y además por su menor uso de energía y huella de CO<sub>2</sub>. Este tipo de envase representa un desafío para la industria del reciclaje ya que posee una delgada capa de Al plastificada que no se recicla con facilidad. Las cajas Tetra Pak están hechas normalmente de 6 capas de material y hasta el 78% (en peso) del envase puede ser de papel (incluso se utiliza papel reciclado). El papel de Al en algunos envases pesa entre 5 y 7%; el resto está hecho de polietileno (PE) [54]. Como resultado de la naturaleza híbrida del embalaje, los Tetra Paks no se pueden reciclar junto al papel normal y deben recogerse y clasificarse por separado. En general, faltan en el mundo plantas especializadas en el reciclado de Tetra Paks. Esto hace que generalmente el PE y el Al se dejen juntos como una forma de material híbrido, para utilizarlos luego en materiales de construcción.

Otra solución son los plásticos biodegradables como el PLA (cadenas poliméricas de ácido poliláctico, origen almidón de maíz), aunque la cantidad de PLA reciclado es muy baja pues generalmente estos materiales se compostan en lugar de reciclarse. Una preocupación: el compostaje del PLA puede dejar residuos sin degradar que actúan como contaminantes. Actualmente es más probable que el PLA vaya a un vertedero que al reciclado [55]. Aunque el PLA puede considerarse "compostable", solo se biodegradará en condiciones específicas. Este proceso demora 30-40 días en una experiencia de laboratorio, hasta 90 días para descomponerse en una instalación de compostaje industrial, 12 meses para degradarse en un compostador doméstico y entre 100 y 1000 años si se deja en el medio ambiente [56].

Todo este análisis indica que la elección de un material para packaging no es un problema de simple resolución, pone al diseñador frente a un dilema: la elección del material, además de todas estas consideraciones ligadas al ambiente y a la producción deberá considerar las características del producto a contener, un precio de venta competitivo para el producto, el cumplimiento de regulaciones, el respeto del gusto de los consumidores, etc.

## ■ CONCLUSIONES

De la lectura de este artículo surge un primer grupo de conclusiones que deben llamarnos a la reflexión:

- A través de la historia, el consumo de materiales, energía y agua en los procesos productivos que desarrolla el hombre ha aumentado. Particularmente, esto ha ocurrido en forma explosiva en los últimos 150 años, junto al fuerte crecimiento po-

blacional.

- Actualmente el hombre utiliza muchísimos (y cada vez más) materiales no renovables. El consumo creciente de estos materiales puede, a un futuro no tan lejano, poner en peligro la sustentabilidad del planeta. Por lo tanto se requiere un uso racional de los materiales y de su reciclado. Es imperativo evolucionar en ese sentido copiando los ciclos cerrados de la naturaleza.
- Los elementos que hacen al conocimiento de los materiales y su utilización en procesos productivos, al cumplimiento de normas de cuidado ambiental, a brindar respuestas adecuadas a las demandas económicas y de calidad que la sociedad plantea, llevan al terreno de la producción y uso de tecnologías sustentables.
- Es evidente que la elección y utilización inteligente de materiales aparece asociada en forma directa o indirecta en prácticamente todo el análisis de un proyecto o proceso productivo: diseño, manufactura, costo ambiental, fin de vida y posible reciclado, inversiones, regulaciones, etc. Una herramienta que es de gran ayuda para evaluar la sustentabilidad de un proyecto es el análisis del "Ciclo de vida" (completo o simplificado) de los materiales y productos. Otro elemento fundamental para brindar mayor sustentabilidad del producto a desarrollar es el "Ecodiseño".
- El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) o Life Cycle Assessment (LCA) toma en cuenta el impacto de todos los aspectos ambientales que ocurren a lo largo de

la vida de un producto. Este estudio permite obtener información estratégica que facilita la toma de decisiones para poder diagramar un verdadero desarrollo sustentable. A lo largo del artículo se puso en evidencia la complejidad de la tarea de desarrollo de un ACV y la ventaja de usarlo en forma simplificada (al menos en una primera etapa).

- El Ecodiseño permite proponer y pasar revista a elecciones alternativas e innovadoras en el diseño de un producto y de los materiales a utilizar. La estrategia de selección de materiales es fundamental para el ecodiseño. La misma debe combinar un buen análisis del ACV con un costo de producción aceptable y una precisión suficiente para guiar la toma de decisiones.

Es evidente que estas conclusiones deberían incluir muchas otras asociadas al Ciclo de vida, al Ecodiseño, a las herramientas a utilizar en las evaluaciones tecnológicas y ambientales, etc.

Todo esto conduciría a un estudio mucho más profundo del tema, lo cual queda fuera del alcance de este artículo cuyo objetivo es simplemente poner de manifiesto esta nueva tendencia en la Ciencia y Tecnología de los Materiales.

## ■ BIBLIOGRAFIA

### REFERENCIAS

- [1] Ashby M.F. (2009) *Materials and the Environment*. ISBN 9781856176088, Elsevier Inc, Oxford / (2011) *Matériaux et environnement*. ISBN 978-2-10-054697, Dunod,

Paris (Traducción).

- [2] Diccionario de la Real Academia Española (2018). 23° Edición, Edición del Tricentenario.
- [3] <https://www.significados.com/materia/>
- [4] <https://es.statista.com/estadisticas/635122/evolucion-de-la-poblacion-mundial-hasta-2030>.
- [5] Camarero Bullón C. (2002) Evolución de la población, características, modelos y factores de equilibrio. Encuentros multidisciplinares, 4, N°10, 8-17. ISSN-E 1139-9325.
- [6] Mohen J.P. (1990) *Métallurgie Préhistorique*. Masson, Paris.
- [7] Ashby M. (2010) *Data for Eng. Materials*. Univ. of Cambridge, Granta Design Ltd.
- [8] Jackson M.D., Mulcahy S.R., Chen H., Li Y., Li Q., Cappelletti P., Wenk H.R. (2017) Phillip-site and Al-tobermorite mineral cements produced through low-temperature water-rock reactions in Roman marine concrete. *American Mineralogist* 102(7), 1435-1450.
- [9] <https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Energy%20supply&indicator=OilProd&mode=chart&dataTable=OIL>
- [10] <https://www.iea.org/topics/climatechange/>
- [11] <https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2018/World-crude-steel-output-increases-by-5.3--in-2017.html>

- [12] <http://www.mining.com/web/global-aluminium-production-growth-brakes-sharply-2018/>
- [13] <https://www.statista.com/topics/1409/copper/2017>
- [14] <https://www.statista.com/statistics/264872/world-production-of-lead-metal/>
- [15] [http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/insg\\_press\\_release\\_oct2018.pdf](http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/insg_press_release_oct2018.pdf)
- [16] <http://www.societechimique-defrance.fr/nouvel-article-355.html?lang=fr>
- [17] [http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/documents/Fiches\\_criticite/fichecriticite\\_titanite171017.pdf](http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/documents/Fiches_criticite/fichecriticite_titanite171017.pdf)
- [18] <https://www.statista.com/topics/1395/precious-metals/>
- [19] <https://www.weforum.org/agenda/2018/08/the-world-of-plastics-in-numbers>.
- [20] <https://www.statista.com/statistics/219343/cement-production-worldwide/>
- [21] [www.asphaltpavement.org/images/stories/GL\\_101\\_Edition\\_3.pdf](http://www.asphaltpavement.org/images/stories/GL_101_Edition_3.pdf)
- [22] [www.wko.at/branchen/industrie/glasindustrie/statistical-data-global-glass-sector](http://www.wko.at/branchen/industrie/glasindustrie/statistical-data-global-glass-sector)(2018).
- [23] The Brick Market–HZZK (2018), [www.hablakiins.com/the-brick-industry/the-brick-market/](http://www.hablakiins.com/the-brick-industry/the-brick-market/)
- [24] [www.fao.org/forestry/statistics/80938/](http://www.fao.org/forestry/statistics/80938/)
- [25] Pulp and paper capacities – Survey 2016-2021, FAO-UN, Rome (2017), ISSN 0255-7665.
- [26] [http://dnfi.org/abaca/natural-fibres-production-reaches-30-million-tons\\_3655/](http://dnfi.org/abaca/natural-fibres-production-reaches-30-million-tons_3655/)(2016).
- [27] <https://es.statista.com/estadisticas/636870/demanda-de-fibra-de-carbono-a-nivel-mundial/> (2018)
- [28] Grant P.(2013) Future of Manufacturing Project: Evidence Paper 10 Foresight. Government Office for Science.
- [29] [www.iea.org/statistics/](http://www.iea.org/statistics/) (IEA World Energy Balances 2018)
- [30] Blesa M.A.(2018) Apuntes para pensar los grandes problemas del agua en el siglo XXI, en Aguas + Humedales, 18-33, M.E. Abraham, R.D. Quintana y G. Mataloni Eds, Libro digital UNSAM Edita
- [31] [www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/](http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/)
- [32] Geldron A.(2014) Economie circulaire: notions. Fiche Technique ADEMA, France
- [33] <https://institut-economie-circulaire.fr/economie-circulaire/piliers-economie-circulaire/>
- [34] Hilbert J., Schein L. (2018) Las huellas ambientales de la generación de valor. 4-9, Ed. INTA.
- [35] Manhart A., Blepp M, Fischer C., Graulich K., Prakash S., Priess R, Schleicher T., Tür M.(2016) Resource Efficiency in the ICT Sector. Oeko-Institute, Germany.
- [36] La facecachée des objets: vers une consommation responsable. Dossier - Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie, France, 9/2018.
- [37] Datos Abiertos de Energía, Argentina (2019). Secretaría de Energía de la Nación, disponible en <http://www.minem.gov.ar/dataset/balances-energéticos>.
- [38] Sensini P., Fiora J., Gil L. y S.(2018) Energías Renovables y Medio Ambiente 42, 1-13. ISSN 0328-932X.
- [39] Information CO<sub>2</sub> des prestations de transports. Guide méthodologique, ADEME (France) (2012).
- [40] Informe, Int. Panel on Climatic Change, IPCC (2007), <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar4/>
- [41] Guide pratique: impacts de smartphones. (2019).Ed. ADEMA, France
- [42] Zabalza Bribián I., Valero Capiella A., Aranda Usón A. (2011) Building and Environment. 46, 1133-1140.
- [43] Euromonitor International's global packaging trends report. [www.euromonitor.com](http://www.euromonitor.com).
- [44] <https://www.telegraph.co.uk/news/2018/01/10/stark-truth-long-plastic-footprint-will-last-planet/>
- [45] <http://www.eunomia.co.uk/reports-tools/plastics-in-the-marine-environment/>
- [46] Villaverde M.S. (2019). comunicación personal, 31a, UNSAM
- [47] Analyse comparative de la consommation d'énergie et

- des emissions de CO<sub>2</sub> entre le transport routiere et le transport combiné rail/route" IFEU / SGKV, Internation Road TransportUnion (IRU), 2002.
- [48] Estudio de calidad de los Residuos Sólidos Urbanos de la Ciudad Autonoma de Buenos Aires. Informe Final, Fac. de Ingeniería UBA, CEAMSE, 2015.
- [49] Rocha Laura Residuos: El 13% de la basura que se genera en la Ciudad son plásticos y apenas se recicla una cuarta parte. BAE, 17/6/2018.
- [50] Luttropp C.10 Golden Rules in Eco Design. KTH Machine Design, SE-100 44, Stockholm, Sweden.
- [51] Fredriksson C.(2018) Envases de agua y desechos plásticos. Advance Industrial Case Study. Granta Design, Cambridge (UK).
- [52] Green, J. (ed) (2007) Aluminum Recycling and Processing for Energy Conservation and Sustainability. Ohio: ASM International
- [53] <https://www.packaging-gateway.com/news/european-aluminium-reports-73-recycling-beverage-cans/>
- [54] <https://www.tetrapak.com/packaging/materials>.
- [55] PLA info: <https://3dprintingindustry.com/news/is-recycling-pla-really-better-than-composting-49679/>
- [56] Candal R. (2019) Comunicación privada, 3iA-UNSAM. Argentina..