



Level 3 Industrial Case Study

Envases de agua y desechos plásticos

Claes Fredriksson

Ansys Materials Education Division

Resumen

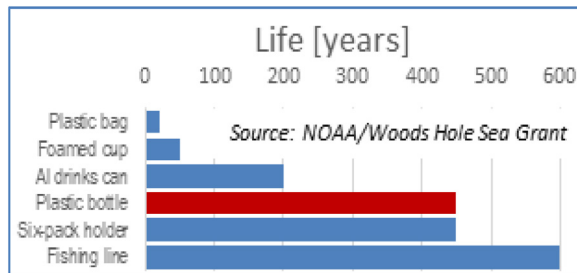
Para involucrar a los estudiantes hoy en día, es importante encontrar temas que sean relevantes para ellos/as. La plataforma Granta EduPack contiene datos y herramientas que ayudan a analizar la toma de decisiones importantes, tanto en el diseño de nuevos productos como en el rediseño de los ya existentes. También se puede utilizar para evaluar y comprender diferentes enfoques y opciones dentro del desarrollo y diseño de producto, especialmente cuando se trata de propiedades ambientales. Este caso práctico industrial avanzado hace hincapié en el problema de los desechos plásticos. Hemos utilizado la herramienta Eco Audit para investigar diferentes opciones de materiales para recipientes de agua. Contiene ideas e información útiles para realizar un ejercicio práctico en el aula en forma de actividad grupal interactiva asistida por ordenador.

Tabla de Contenidos

1. Campo de aplicación	3
2. ¿Qué puede hacer Granta EduPack?	4
3. Nivel 2 vs. Nivel 3.....	5
4. Eco Audit envases de agua – diferentes alternativas.....	6
5. Control de realidad.....	7
6. ¿Qué ofrece Granta EduPack a la docencia?	8
Ejercicio práctico para clase	9
Referencias	9

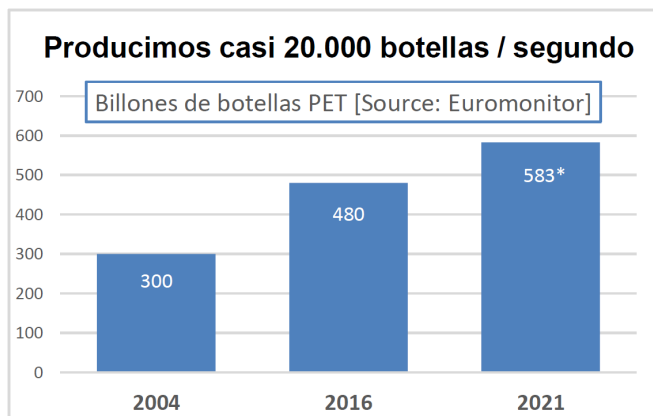
1. Campo de aplicación

El documental de la BBC, *The Blue Planet II*, ha despertado la conciencia mundial y ha provocado el debate sobre el uso de plásticos en nuestra sociedad y sus consecuencias en el medio marino. Hasta 12 millones de toneladas de plásticos terminan en el mar cada año. Los causantes del problema son desde objetos íntegros hasta micropartículas plásticas, así como los productos químicos asociados. Se vierten en torno a 1 millón de microplásticos al año en la naturaleza, pero la mayor parte de los desechos son objetos de fuentes terrestres. Los envases, como las botellas y otros plásticos desechables son especialmente problemáticos [1].



Es probable que las botellas de plástico floten, pero solo el 1% de los plásticos marinos se encuentran cerca de la superficie, con una concentración global promedio cercana a 1 kg/km². La concentración más elevada está registrada en el giro del Pacífico Norte a 18 kg/km². Esto es una clara evidencia del efecto acumulativo de los plásticos como desecho. El problema principal es que los plásticos son muy duraderos [2] y no forman parte de ningún ciclo natural.

En lugar de culpar únicamente al material, debemos analizar el diseño del producto, y la manera en que lo utilizamos. Más de un millón de botellas de plástico se compran en todo el mundo cada minuto y el número puede aumentar en un 20% para 2021 [3]. La mayoría de las botellas de plástico utilizadas para refrescos y agua están hechas de tereftalato de polietileno (PET), que es fácilmente reciclable. Sin embargo, se estima que a nivel mundial solo se recicla alrededor del 9% de los desechos plásticos. Otro 12% se incinera y el 79% se deposita en vertederos o en la naturaleza [2]. Es una cuestión ligada a los ciclos de vida.



Es importante que el ciclo de vida del material sea debatido en los cursos de ingeniería y diseño, para permitir que las generaciones futuras de desarrolladores/as de productos consideren sus efectos a largo plazo, como en este problema de los desechos. Se deben considerar diferentes materiales y conceptos alternativos, que minimicen el impacto ambiental (y social) negativo. En este caso práctico, mostramos que Granta EduPack se puede utilizar para ayudar a hacer este análisis y apoyar la toma de decisiones en el desarrollo de productos. Proporcionamos una comparación del ciclo de vida de las botellas de PET y algunos recipientes de agua alternativos utilizando Eco Audit, y proponemos un ejercicio para el aula que se puede realizar como actividad grupal con los estudiantes.

2. ¿Qué puede hacer Granta EduPack?

The material

The name polyester derives from a combination of 'Polymerization' and 'esterification'. Saturated polyesters are thermoplastic - examples are PET and PBT; they have good mechanical properties to temperatures as high as 175 °C. PET is crystal clear, impervious to water and CO₂, but a little oxygen does get through. It is tough, strong, easy to shape, join and sterilize - allowing reuse. When its first life comes to an end, it can be recycled to give fibers and fleece materials for clothing and carpets. Unsaturated polyesters are thermosets; they are used as the matrix material in glass fiber/polyester composites. Polyester elastomers are resilient and stretch up to 45% in length; they have good fatigue resistance and retain flexibility at low temperatures.

Environmental notes

PET bottles take less energy to make than glass bottles of the same volume, and they are much lighter - saving fuel in delivery. Thick-walled bottles can be reused, thin-walled bottles can be recycled - and are, particularly in the US.

Supporting information

Design guidelines

There are four grades of thermoplastic polyesters: unmodified, flame retardant, glass-fiber reinforced and mineral-filled. Unmodified grades have high elongation; flame retardant grades are self-extinguishing; glass-fiber reinforced grades (like Rymite) are some of the toughest polymers but there are problems with dimensional stability; and mineral-filled grades are used to counter warping and shrinkage although some strength is lost. The PET used in carbonated drink containers is able to withstand pressure from within, it is recyclable and lighter than glass. The limits of the material's permeability to oxygen is overcome by sandwiching a layer of polyethylenediacetate between two layers of PET giving a multi-layer material that can still be blow molded. Polyester can be optically transparent, clear, translucent, white or opaque; the resin is easily colored.

Granta EduPack tiene hojas de registros que cubren una amplia variedad de posibles materiales para envases de agua, vidrio, aluminio, cartón y polímeros, como PET. La base de datos incluye datos ecológicos (energía contenida, huella de carbono, consumo de agua), así como información sobre reciclaje y biodegradación. Si buscamos PET en la base de datos aparecen datos interesantes a considerar en las decisiones de diseño, tanto en el Nivel 2 como en el Nivel 3.

Otro polímero que puede resultar familiar a la mayoría de las personas es el utilizado para los tapones de botellas de plástico, el *polipropileno* (PP). Hay una gran cantidad de aplicaciones para este plástico, como se puede ver en el registro del material en el Nivel 2. Esta información es útil cuando se buscan aplicaciones específicas dentro del diseño y desarrollo de productos, proporcionando inspiración de materiales para conceptos similares. El PP es una de las posibles propuestas para envases de agua.

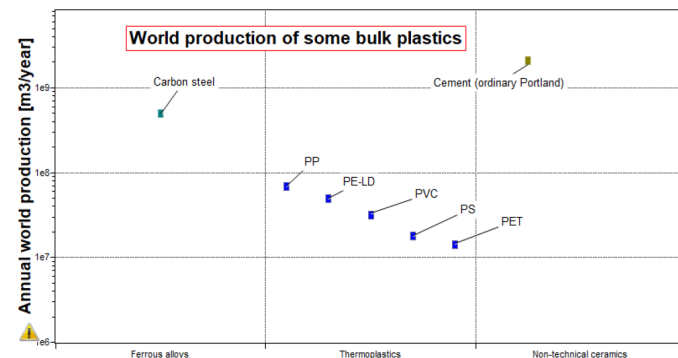
Typical uses ⓘ

Automotive interior parts, appliance components, electrical/electronic applications, packaging, cosmetic, cosmetics, coating applications, automotive under the hood, parts, thin-walled, compounding, containers, shipping, consumer applications, household goods, bags, packaging, food, sheet, clear, color concentrates, fabrics, industrial applications, laminates, containers, thin-walled, cups, packaging, media, toys, parts, engineering, mining applications, coatings, fabric, coatings, foil, coatings, non-wovens, coatings, paper, coatings, wovens, packaging, rigid, appliances, lids, furniture, sporting goods, tool/tote box, kitchenware, general purpose, lawn and garden equipment, automotive exterior parts, outdoor furnishings, containers, food, outdoor applications, bathroom accessories, automotive bumper, automotive instrument panel, packaging, thin-walled, washer, parts, industrial, trays, support, luggage, audio tapes, film, cast, film, multilayer, vials, film, bi-axially oriented, film, oriented, hypodermic syringe parts, labware, parts, transparent or translucent, hinges, living, bonding, containers, industrial, hospital goods, batteries, buckets, bowls, general mechanical parts, bottle crates, medical components, washing machine drums, pipes, battery cases, bottles, bottle caps, films for packaging, fibers for carpeting and artificial sports surfaces.

Composition overview ⓘ **Apoyo para el diseño con PP**

Compositional summary ⓘ

Random copolymer of propylene (CH₂CH(CH₃))_n small amounts of ethylene (CH₂CH₂)_m or other comonomer, forming a single phase material. Ethylene content up to 7% but typically 2-4%.



Los datos también se pueden usar para analizar recursos. Por ejemplo, para mostrar la magnitud de la producción mundial anual de plásticos. A la izquierda se muestran los volúmenes de producción. Aunque el PP es uno de los polímeros más producidos en el mundo, un rápido vistazo a la información sobre el *reciclaje y fin de vida* en el registro del material nos revela que menos del 6% de PP es reciclado en el suministro industrial y que además, el PP no es biodegradable.

Las ecopropiedades son interesantes, pero una justa comparación debería considerar todo el ciclo de vida. En economía circular, se deben sopesar varios ciclos de vida. Una ecoauditoría tiene en cuenta el origen de las materias primas y el final de la vida útil de los materiales, así como las fases de fabricación y uso del producto. La materia prima puede ser material virgen, material reutilizado (no se requiere energía), o cualquier mezcla especificada de fracciones recicladas y vírgenes.

Recycling and end of life

Recycle	ⓘ	✓	
Embodied energy, recycling	ⓘ	* 23.5	MJ/kg
CO ₂ footprint, recycling	ⓘ	* 0.989	kg/kg
Recycle fraction in current supply	ⓘ	5.53	%
Downcycle	ⓘ	✓	
Combust for energy recovery	ⓘ	✓	
Heat of combustion (net)	ⓘ	* 45.1	MJ/kg
Combustion CO ₂	ⓘ	* 3.14	kg/kg
Landfill	ⓘ	✓	
Biodegrade	ⓘ	✗	
Recycle mark	ⓘ		



En el Nivel 2, todos los termoplásticos tienen marcas de reciclaje. Las opciones de fin de vida consideradas en el Eco Audit son: *vertedero, combustión, infra-reciclaje, reciclaje, reprocesado y reutilización*. Utilizan los datos de las ecopropiedades para materiales vírgenes o reciclados de las hojas de datos, como se muestra arriba.

3. Nivel 2 vs. Nivel 3

Los casos prácticos avanzados industriales que presentamos normalmente hacen uso de las bases de datos del Nivel 3 y muestran las características más avanzadas de Granta EduPack. La base de datos del Nivel 2 también es muy útil para temas de ecodiseño, teniendo acceso a la misma herramienta Eco Audit que la mayoría de las bases de datos avanzadas. Algunas características, como las imágenes de materiales y procesos, solo están disponibles en los Niveles 1 y 2.



General information

Overview ⓘ

PET was originally only used to produce fibers for clothing (polyester). In the last three decades, its use for blow-molded drinks/food containers has become highly significant due to its generally good properties and superiority to glass for such applications (particularly in terms of brittleness and strength to weight ratio).

Strengths ⓘ

Good water vapor and oxygen barrier. High strength and stiffness (for commodity/engineering thermoplastic). Excellent transparency/clarity, practical and established recycling, low friction. Good low frequency electrical properties, good melt flow, good resistance to gamma radiation (allows for sterilization), very good surface finish. Easily colored, can be optically transparent, clear, translucent or opaque.

Limitations ⓘ

Unfilled **PET** is problematic to injection mold compared with PBT. Very susceptible to heat degradation in amorphous form (less so when semi-crystallized), burns easily (unless fire retardant grade used), can release harmful fumes during processing, poor heat distortion temperature. High mold shrinkage, limited resistance to hydrolysis, limited usefulness below 0 °C (32 °F) (becomes brittle). Cannot be steam sterilized due to low hydrolysis resistance.

Designation ⓘ

Often the specific polymer referred to as polyester, even though polyesters are a broad class.

Typical uses ⓘ

Amorphous: Blow-molded bottles, packaging film, film, photographic and X-ray film, audio/visual tapes, industrial strapping, capacitor film, drawing office transparencies, fibers. Semi-crystalline: Electrical fittings and connectors, audio/visual tapes, industrial strapping, capacitor film, fibers.

Composition overview

Compositional summary ⓘ

(CO-(C6H4)-CO-O-(CH2)2-O)_n

Material family	ⓘ	Plastic (thermoplastic, semi-crystalline)
Base material	ⓘ	PET (Polyethylene terephthalate)
CAS number	ⓘ	25038-59-9

Effect of composition ⓘ

Amorphous grades have better clarity and barrier properties than semi-crystalline grades. Voluminous comonomers such as isophthalic acid or 1,4-cyclohexane dimethylol are used to lower crystallinity for production of transparent parts. Gas barrier properties can be further improved for specialized application by multi-layering with polyvinyl alcohol.

Unmodified grades have high elongation. Glass-fiber reinforced grades are tough and strong though dimensional stability can be problem. Mineral-filled grades are used to counter warping and shrinkage, but some strength is lost.

Mientras que en el Nivel 2 hay información general sobre, por ejemplo, PET y PP, así como apoyo al diseño, el Nivel 3 contiene información más detallada, tal y como se muestra a la izquierda. La información es más concreta en los registros de materiales del Nivel 3. Cuando se considera la utilización de materiales con algún tipo de recubrimiento, hay un amplio número de propiedades, como la dureza Rockwell, así como propiedades ópticas y térmicas. También ofrece datos de absorción y permeabilidad adicionales en comparación con el Nivel 2. La cantidad de materiales recogidos en el Nivel 3, alrededor de 4000, implica que cubrimos muchas más aleaciones, tratamientos térmicos y grados, lo cual es esencial para un caso práctico realista en cursos avanzados. En el caso de las botellas de PET, por ejemplo, permite distinguir entre PET amorfo sin carga, que es transparente, y PET semicristalino sin carga, que es opaco.

Las bases de datos de polímeros externas, como *Campus* y *Prospector Plastics*, están disponibles en el Nivel 3 de la base de datos de *Polímeros*. Estos contienen, además, detalles de proveedores para una mayor investigación. En la base de datos de *Polímeros*, también hay alrededor de doscientas propiedades adicionales de resistencia química extraídas de la base de datos *Rapra ChemRes*.

La base de datos de *Sostenibilidad* en Granta EduPack tiene tablas de datos extra que, por ejemplo, resumen el reglamento y legislación correspondiente a los envases en la Unión Europea y otros países (EE. UU., China, Reino Unido, etc.), tanto en el Nivel 2 como Nivel 3.

Bio-data

Biocompatible	ⓘ	✓
Medical grades	ⓘ	✓
Food contact	ⓘ	✓

Database: Level 3 Sustainability Change...

packaging 🔍

▾ Elements (3)

⚡ Legislation and Regulations (8)

- 🇬🇧 UK Packaging Regulations (2003)
- 🇪🇺 The EU Packaging Directive (1994)
- 🇬🇧 Recycling of Used Plastics Ltd. (RECOUP)
- 🇬🇧 Waste and Resources Action Program (WRAP)
- 🇬🇧 Control of Substances Hazardous to Health (COSHH)
- 🇬🇧 Landfill Directive
- 🇪🇺 Energy using Products Directive (EuP) (Ecodesign Directive)
- 🇬🇧 The EU FLEGT Action Plan (2003)

Otra base de datos avanzada, la de *Bioingeniería*, contiene datos biológicos sobre el cumplimiento de los protocolos y las directivas de materiales en contacto con alimentos (FDA, EU, etc.), como la regulación para polímeros para embalajes.

4. Eco Audit envases de agua – diferentes alternativas

Los envases incluidos en nuestra comparación en Nivel 2 son (la marca es irrelevante en el resultado):

1. PET (500 ml)

2. PLA (500 ml)

3. Lata Al (330 ml)

4. Tetra Pak (500 ml)



Transport

Name	Transport type	Distance (km)
Transport	14 tonne (2 axle) truck	405

Use

Product life: 1 Years

Country of use: United Kingdom

Static mode

Product uses the following energy:

Energy input and output: Electric to mechanical (electric moto)

Power rating: 0.12 kW

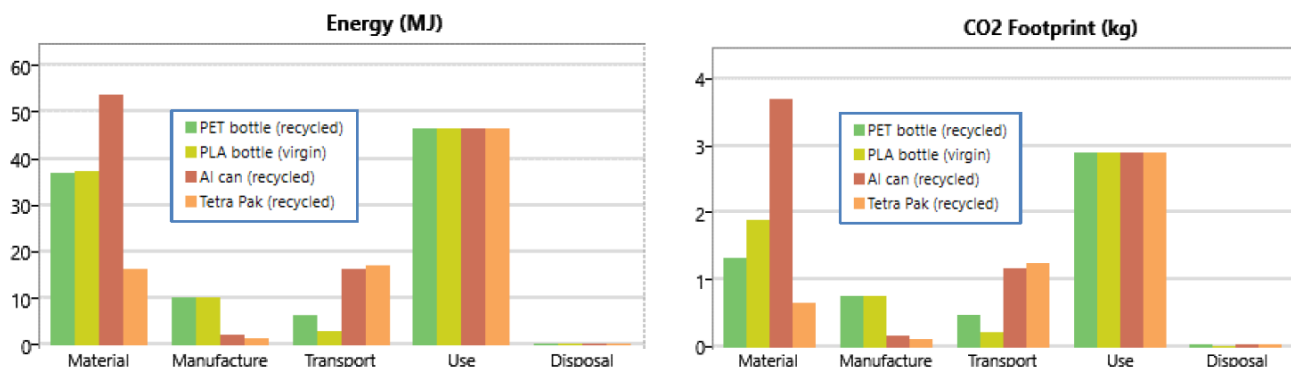
Usage: 2 days per year

Usage: 24 hours per day

Esta selección representa una botella de PET como referencia, y algunas opciones (p. ej., el biopolímero PLA), que se pueden comparar y analizar desde una perspectiva de ciclo de vida. Hemos excluido las botellas de vidrio, que se pueden limpiar y reutilizar en lugar de reciclar. Las masas fueron medidas con balanzas con precisión de +/- 0.5 g. La fase de uso elegida fue una refrigeración durante 2 días (modo estático) utilizando una mezcla de electricidad de Reino Unido. Se supone un uso de potencia promedio de 120 W y se introducen las distancias reales para el transporte, dependiendo del origen del agua. Por ejemplo, de Armathwaite (véase el recuadro en la primera imagen) a Cambridge en el Reino Unido: 404.5 km. El peso del agua también debe considerarse.

Envase:	1. Botella PET (0.5 l)	2. Botella PLA (0.5 l)	3. Lata Al (0.33 l)	4. Tetra Pak (0.5 l)
Uds. para 10 litros [#]	20	20	30	20
Material (botella+tapa)	PET+PP	PLA+PP	Wrought Al non-aged	Cardboard+PP
Masa [g] (botella+tapa)	23+3	30+3	12.5	20+3
Masa [kg] (líquido)	0.5	0.5	0.33	0.5
Reciclado [%]	21	0.3	42.5	71.9
Transporte [km]	405	188	936 (road)+41 (ship)	1082 (road)+41 (ship)
Origen	Armathwaite, UK	South Downs, UK	Perrier, France	Fläming, Germany
Energía [MJ]	100	97	118	81
CO ₂ [kg/kg]	5.4	5.7	7.9	4.9

Los resultados se muestran en un gráfico de energía y huella de CO₂, mostrado a continuación:



Los valores numéricos se pueden encontrar en el Informe Detallado, pero en el gráfico vemos como la fase de uso (refrigeración) es considerable y que la lata de Al, utilizando la fracción reciclada tomada del suministro industrial típico (42.5%), tiene una huella de CO₂ dos veces mayor que la de las otras opciones. Es fácil investigar qué sucedería si fuésemos capaces de alcanzar el 100% de Al reciclado ajustando la fracción reciclada en la BOM (Bill of Materials). Esto, hipotéticamente, reduciría la huella de CO₂ del material por debajo de la huella del PET actual (dando una huella de CO₂ total para el ciclo de vida completo un 2% menor).

En general, el Al presenta el mayor uso total de energía (18% más que el PET) y la mayor huella de CO₂ (45% más que el PET). La opción Tetra Pak tiene la huella de CO₂ más baja, con un 19% de energía y un 10% de huella de CO₂ menos que el PET. También podemos observar la importancia del transporte, aunque los dos envases de agua importados (Al y Tetra Pak) tienen un consumo de energía y emisiones relativamente moderado. La fase de fabricación también es relativamente pequeña para todos los envases. Estos resultados quedan abiertos para su interpretación y debate en el aula.

5. Control de realidad

La opción Tetra Pak se presenta como claro ganador por su menor uso de energía y huella de CO₂, además de estar hecha de un material altamente reciclado y renovable. Tetra Pak ofrece una calculadora online de CO₂ para una investigación más en profundidad [4]. Hay que tener en cuenta que este envase presenta un desafío para la industria del reciclaje ya que contiene una delgada capa de Al plastificada que no se recicla con facilidad. Las cajas Tetra Pak están hechas normalmente de 6 capas de material. Hasta el 78% (en peso) del paquete puede ser de papel y recientemente se ha introducido el uso de papel reciclado. El papel de aluminio en algunos paquetes pesa entre 5 y 7%, el resto está hecho de polietileno (PE) [5]. Si se reemplazan 3 g de papel / cartón por 1 g de Al y 2 g de PE en la BOM del Eco Audit, la energía y la huella de CO₂ aumentan en alrededor de 5 unidades porcentuales, pero la imagen general no cambia.

Como resultado de la naturaleza híbrida del embalaje, los Tetra Paks no se pueden reciclar con papel normal y deben recogerse y clasificarse por separado. En Reino Unido, por ejemplo, solo hay una planta de reciclaje que actualmente maneja todos los envases de Tetra Pak. El desafío de separar las capas significa que el PE y el Al generalmente se dejan juntos como otra forma de material híbrido y luego se usan en materiales de construcción. Sin embargo, el Al puro puede ofrecer grandes beneficios de reciclaje, ya que tiene un límite integrado y el Al reciclado requiere 85-95% menos de energía que el Al virgen. La *Industria Europea* de envases de aluminio informa de una tasa alentadora de reciclado del 73% de las latas de bebidas [6].

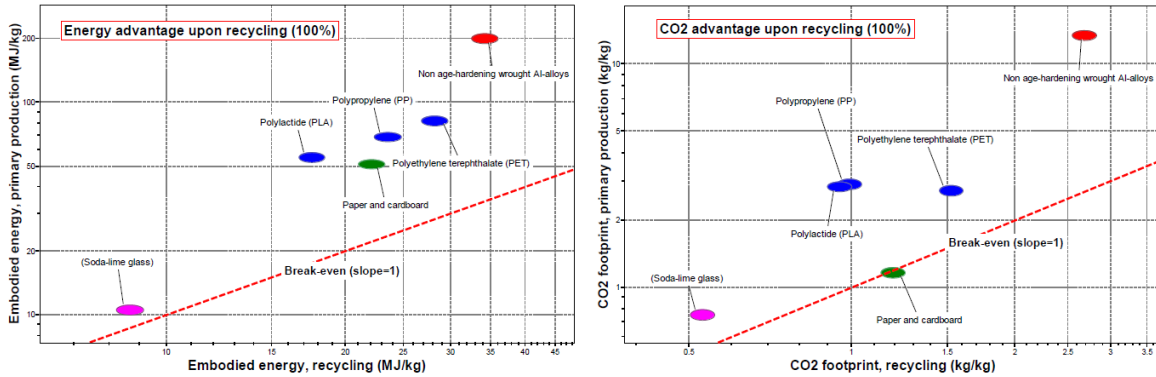
Los plásticos biodegradables como el PLA serían otra solución, pero la cantidad de PLA reciclado es muy baja. Esto podría atribuirse a que se compostan en vez de reciclarse, pero el compostaje del PLA puede dejar residuos sin degradar que actúan como contaminantes. El PLA se puede reciclar al igual que otros plásticos, pero la presencia del biopolímero contamina el proceso de reciclaje de los otros polímeros [7]. La presencia de polímeros biodegradables daña la estabilidad de polímeros como el PET y el PP. Por estas razones, es más probable que el PLA vaya a un vertedero que al compostaje o el reciclaje. Además, aunque el PLA puede considerarse “compostable”, solo se biodegradará en condiciones específicas. Demora 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 [8].

Una solución parcial al problema de los residuos de plástico es mejorar los sistemas actuales de reciclaje, por ejemplo, introduciendo un depósito (tarifa reembolsable) en las botellas de PET en la compra y una forma de recuperar este dinero al devolver la botella. Esto ya existe en algunos países, por ejemplo, en Suecia, que han dado



como resultado niveles de reciclaje tanto para las botellas de PET como para las latas de aluminio de alrededor del 85% [9].

El reciclaje es una herramienta importante para reducir el desperdicio y las emisiones de CO₂. Esto se puede ver en los gráficos a continuación, que muestran los beneficios del material reciclado comparado con el virgen.



Los materiales del envase (excepto el vidrio, incluido para completar la comparación) muestran al menos un 50% menos de energía contenida para el material reciclado en comparación con el virgen. Una observación interesante del segundo gráfico es que el nuevo papel / cartón tiene la misma huella de CO₂ que el reciclado. Esto se debe a que el material renovable basado en la madera captura el CO₂ del aire mediante la fotosíntesis durante su crecimiento y, por lo tanto, compensa las emisiones de producción, lo que se refleja en la huella.

¿Pero, qué se puede hacer con los residuos plásticos que ya contaminan el medio marino? Una idea podría ser recolectarlos y usarlos como combustibles para impulsar la recolección en sí. El calor de combustión del PET es superior a 23 MJ/kg; entre la madera (alrededor de 15 MJ/kg) y el etanol (alrededor de 30 MJ/kg). El PP tiene un contenido de energía aún mayor, alrededor de 45 MJ/kg, igualando al Diesel. Es evidente considerando la situación actual que se deben tomar medidas activas para la recolección de estos residuos.

6. ¿Qué ofrece Granta EduPack a la docencia?

Granta EduPack es una herramienta muy versátil para estudiar temas relacionados con la sostenibilidad. Las decisiones sobre los materiales se pueden examinar y discutir como tareas, o en el aula y se pueden cubrir muchos temas de actualidad (ver otros casos prácticos ya disponibles en español, como el *Aterrizador de Marte*, *Vehículo Eléctrico*, etc.). El punto de partida del caso práctico fue utilizar datos de materiales y del Eco Audit para comprender las alternativas a las botellas de PET como envases de agua. Esto fue motivado por informes recientes sobre los residuos de plástico en el medio ambiente. Tras este estudio con Granta EduPack, se sugieren las siguientes conclusiones sobre este tema:

- Granta EduPack ha demostrado ser útil para investigar el desafío ambiental de los desechos plásticos al comparar botellas de PET con alternativas: Botellas de PLA, latas de Al y Tetra Pak.
- Tanto el nivel 2 como el nivel 3 tienen datos útiles que pueden emplearse para evaluar los envases, por ejemplo, con respecto a la fracción reciclada en el suministro actual de materiales, la energía contenida y la huella de CO₂ de los materiales, vírgenes o reciclados. Esta información proporciona una buena base para debatir en el aula.
- Usando Eco Audit, se puede explorar fácilmente el impacto del reciclaje, como se ha demostrado con el cambio en la fracción reciclada de Al, por ejemplo. Esto ayuda a destacar las consecuencias de las decisiones sobre materiales.
- La energía/huella de CO₂ de la etapa de uso en los Eco Audit es considerable y del mismo orden que las otras fases combinadas. Esto implica que pueden producirse reducciones importantes al reducir

- la refrigeración, con una influencia mínima de la elección del material del envase.
- La combinación del software con una actividad práctica ofrece la oportunidad de involucrar activamente a los alumnos/as durante el aprendizaje en el aula.

Enfatizamos que los resultados son estimaciones de un Eco Audit, que ofrece una aproximación del ciclo de vida. Contiene aproximaciones y se basa en datos ecológicos que tienen considerables incertidumbres. Los resultados están destinados a ser utilizados como base para la discusión y tienen una precisión cuantitativa limitada [10].

Ejercicio práctico para clase

La comparación del Eco Audit es un ejercicio ideal para realizar en clases reducidas, como una práctica de laboratorio para grupos de 2-3 alumnos/as. Esto ya ha sido probado con estudiantes de una Escuela Europea de Invierno, durante una sesión en Cambridge. Todo lo que se necesita son balanzas digitales, no más precisas de las usadas en una cocina, con una precisión de aproximadamente 0.5 g, o superior. Estudiantes y docentes pueden contribuir con los envases y los resultados se pueden escribir en la pizarra en tiempo real durante la sesión, en una tabla similar a la que hemos usado. En la comparación se podrían incluir botellas de vidrio, bolsas de agua o cantimploras de camping. Puede ser interesante comparar la influencia de las diferentes opciones de transporte, así que trate de encontrar un conjunto variado de orígenes para el agua, domésticas y exóticas; (Islas Fiji, Canadá, Suiza, Italia, Francia, etc., dependiendo de su ubicación) e investigue las distancias y la logística involucrada.

Referencias

1. <http://www.eunomia.co.uk/reports-tools/plastics-in-the-marine-environment/>
2. <https://www.telegraph.co.uk/news/2018/01/10/stark-truth-long-plastic-footprint-will-last-planet/>
3. Euromonitor International's global packaging trends report: <https://www.euromonitor.com/>
4. CO₂ calculator: <https://www.tetrapak.com/sustainability/environmental-impact/a-value-chain-approach/carton-co2e-footprint>
5. General composition info: <https://www.tetrapak.com/packaging/materials>
6. <https://www.packaging-gateway.com/news/european-aluminium-reports-73-recycling-beverage-cans/>
7. PLA info: <https://3dprintingindustry.com/news/is-recycling-pla-really-better-than-composting-49679/>
8. <http://www.mjspackaging.com/blog/the-pros-and-cons-of-pla-bottles-making-your-product-environmentally-friendly/>
9. Swedish recycling statistics: <https://pantamera.nu/pantsystem/statistik/pantstatistik/>
10. Para una discusión en las aproximaciones y en la precisión de los datos, ver: M.F. Ashby, *Materials and the Environment*, 2nd edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2012.

© 2021 ANSYS, Inc. All rights reserved.

Use and Reproduction

The content used in this resource may only be used or reproduced for teaching purposes; and any commercial use is strictly prohibited.

Document Information

This case study is part of a set of teaching resources to help introduce students to materials, processes and rational selections.

Ansys Education Resources

To access more undergraduate education resources, including lecture presentations with notes, exercises with worked solutions, microprojects, real life examples and more, visit www.ansys.com/education-resources.

ANSYS, Inc.
Southeppointe
2600 Ansys Drive
Canonsburg, PA 15317
U.S.A.
724.746.3304
ansysinfo@ansys.com

If you've ever seen a rocket launch, flown on an airplane, driven a car, used a computer, touched a mobile device, crossed a bridge or put on wearable technology, chances are you've used a product where Ansys software played a critical role in its creation. Ansys is the global leader in engineering simulation. We help the world's most innovative companies deliver radically better products to their customers. By offering the best and broadest portfolio of engineering simulation software, we help them solve the most complex design challenges and engineer products limited only by imagination.

visit www.ansys.com for more information

Any and all ANSYS, Inc. brand, product, service and feature names, logos and slogans are registered trademarks or trademarks of ANSYS, Inc. or its subsidiaries in the United States or other countries. All other brand, product, service and feature names or trademarks are the property of their respective owners.

© 2021 ANSYS, Inc. All Rights Reserved.