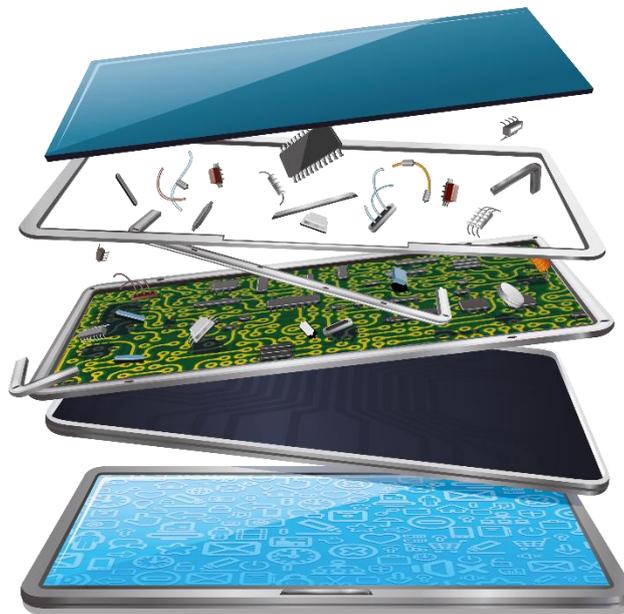


Materiales para una *Tablet*

Claes Fredriksson y Luca Petruccelli

Granta Design, 300 Rustat House, 62 Clifton Rd, Cambridge, CB1 7EG, UK
First published December 2017, This version March 2019
© 2017 Granta Design Limited



Contenido

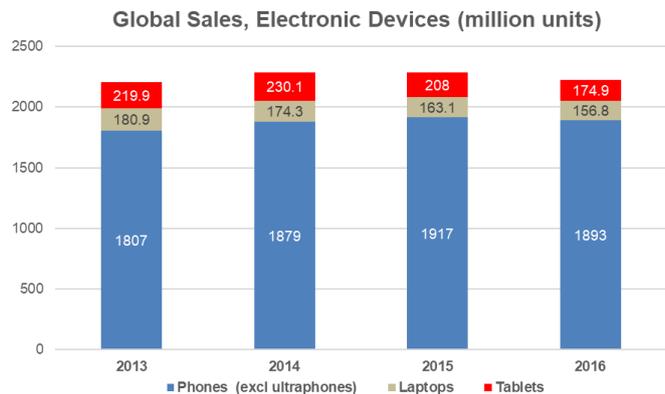
1. ¿Cuál es el alcance?	2
2. ¿Qué puedes hacer con CES EduPack?	2
3. Cómo comparar materiales con CES EduPack	3
4. Cómo investigar materiales y componentes críticos con CES EduPack	4
5. Eco Audit e investigación de materiales críticos para <i>tablets</i> ligeras.....	6
6. Análisis y control de realidad.....	8
7. ¿Qué aporta CES EduPack a la comprensión?	9
Referencias.....	9

Resumen

CES EduPack no solo aporta a la selección de materiales un enfoque racional y sistemático, sino también datos y herramientas de eco-sostenibilidad de gran utilidad en ingeniería y ecodiseño, y que serán esenciales en la formación de los profesionales del futuro. Las bases de datos disponibles permiten tomar decisiones bien fundadas sobre materiales en múltiples áreas de especialización. Este caso práctico avanzado se centra en la selección de materiales para una *Tablet* (o Tableta), a fin de explorar su rendimiento.

1. ¿Cuál es el alcance?

La electrónica tiene un gran impacto en la economía global, en el medioambiente y en el día a día de las personas. Cada año se venden alrededor de 2 mil millones de teléfonos móviles y cientos de millones de *Tablets* y portátiles [1]. Pese a que hay indicios de una desaceleración del crecimiento, el impacto de estos productos es enorme. Existen importantes interrogantes, como la sostenibilidad de los materiales utilizados, su reciclabilidad, el consumo de energía implicado, el uso de sustancias peligrosas, restringidas o críticas y la disponibilidad de recursos.



A medida que el tamaño de los teléfonos móviles ha aumentado para satisfacer la demanda del mercado (ver películas, videojuegos), también lo ha hecho la importancia de la integridad mecánica de su carcasa. De hecho, algunos modelos han tenido problemas de resistencia y rigidez a flexión. Las pantallas táctiles de estos dispositivos también deben resistir posibles arañazos durante su uso y transporte. Si bien los circuitos internos de móviles y *Tablets* normalmente tienen suficiente resistencia y tenacidad de fractura, las propiedades mecánicas de la carcasa y la pantalla de cristal líquido son críticas y de especial preocupación.

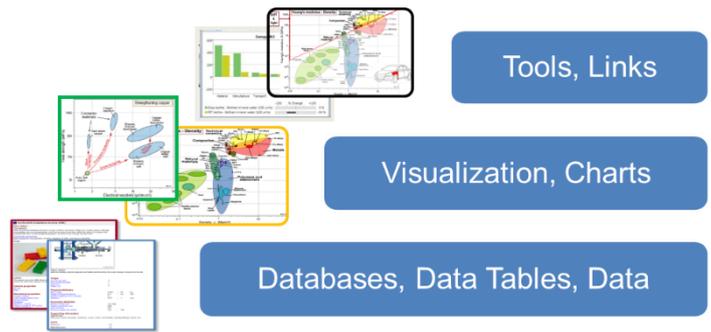
Además, en los productos electrónicos hay muchos elementos peligrosos, restringidos y críticos que deberían investigarse. Dichos elementos, desde los retardantes de llama de los polímeros y el plomo de las soldaduras, hasta el litio de las baterías recargables, están sujetos a la legislación y regulaciones de cada país, y también afectan a la reciclabilidad de los componentes. Todos estos aspectos son importantes en un contexto de sostenibilidad y economía circular, especialmente para futuros ingenieros/as y diseñadores/as.

Estudios previos describen una relación aproximadamente lineal entre la masa de estos productos y sus emisiones contenidas [2]. Sin embargo, sería más preciso un modelo lineal sofisticado que especificase la masa de la pantalla, batería, placa de circuito impreso, etc. Gracias a mejoras de diseño y a un menor uso de materiales, especialmente a la optimización de los circuitos integrados, las emisiones de gases de efecto invernadero de los nuevos productos han disminuido entre un 50% y un 60% en comparación con los antiguos de misma funcionalidad. En este artículo hemos adaptado/simplificado la Lista de Materiales (BOM – *Bill of Materials*) de un dispositivo genérico, y el objetivo es comparar escenarios de decisiones de materiales y mostrar las posibilidades del programa, no proporcionar valores exactos. Sin embargo, las cifras son realistas.

2. ¿Qué puedes hacer con CES EduPack?

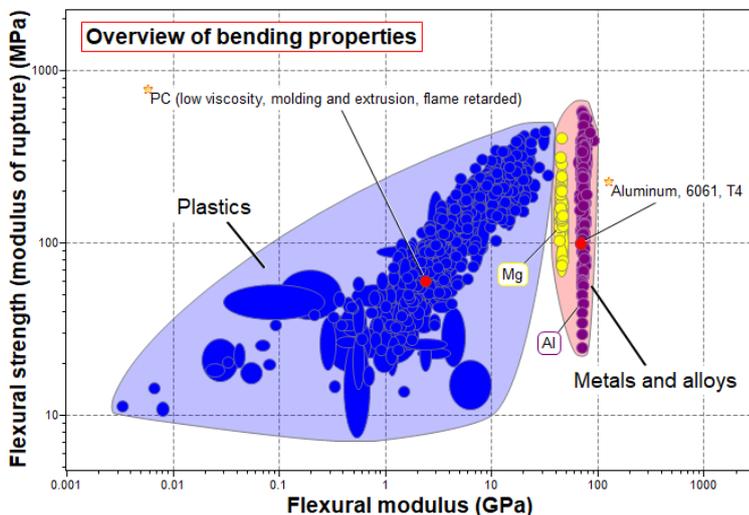
CES EduPack aporta un enfoque racional y sistemático a la selección de materiales. Está basado en el trabajo del profesor Mike Ashby [3] y compañeros/as. Los datos y las herramientas incluidas en el programa permiten la optimización del peso, del comportamiento mecánico y otras mejoras. También es útil para la comparación de opciones, por ejemplo, en el rediseño de productos. Esta evaluación se puede realizar de forma visual, mediante diagramas de propiedades realizados rápidamente con las herramientas de gráficas del programa.

Las bases de datos avanzadas *Nivel 3 (Level 3)* tienen miles de registros de materiales. Vamos a utilizar la base de datos *Sustainability*, que dispone de herramienta *Eco Audit+*, para evaluar el ciclo de vida, un fácil acceso a datos de disponibilidad y criticidad de recursos en la base de datos *Elements*, con enlaces directos a sus tablas de datos. También tiene datos sobre energía contenida, y regulación y legislación de gran utilidad en un estudio de este tipo.



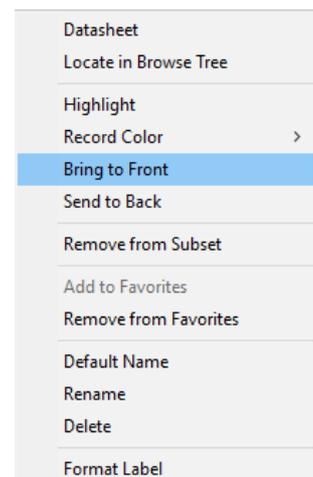
Jerarquía de las características utilizadas en este caso práctico

3. Cómo comparar materiales con CES EduPack



Comenzando con las propiedades mecánicas, está claro que el modo de carga crucial en este dispositivo será el de “placa bajo flexión”. CES EduPack puede utilizarse para comparar y visualizar opciones de materiales mediante gráficos de propiedades. Para la carcasa inferior, se pueden estudiar por ejemplo dos diseños alternativos que son viables y de relevancia [2]. Uno es de policarbonato (PC), generalmente utilizado para libros electrónicos de bajo coste que tienen que ser ligeros para competir con los de papel, y otro de aluminio (Al), más duradero y resistente y aun así relativamente ligero.

El gráfico ofrece una vista general, que incluye a los dos candidatos. La rigidez a flexión es importante de cara a proteger el LDC (pantalla de cristal líquido) y el circuito interno, y la resistencia a flexión para evitar la deformación plástica. El grado elegido para el PC es sin carga, de baja viscosidad, para moldeo y extrusión y con retardante de llama (*Unfilled, low viscosity, molding and extrusion, flame retarded*). Una representación viable del Al es la aleación Al 6061, presente en el *MaterialUniverse* [4]. También se han añadido al gráfico comparativo termoplásticos y aleaciones metálicas ligeras de Al y Mg, usando la función subconjunto personalizado (*Custom Subset*). Haciendo clic derecho sobre el nombre del material, se puede modificar su etiqueta, marcar como favorito, traer al frente y colorear de rojo, mejorando su visibilidad. El gráfico muestra una resistencia y rigidez intermedia en ambos candidatos, aunque mayor en el Al. Sin embargo, esta comparación no es justa considerando su aplicación como carcasa de *Tablet* ligera, ya que las diferentes densidades darían diferentes espesores.



Un gráfico sencillo representando la resistencia a flexión en un eje y el módulo a flexión en el otro ofrece una visión general de las propiedades de los materiales, pero se debe hacer un análisis comparativo usando un índice de rendimiento relevante específico para cada aplicación. En una placa bajo flexión con el objetivo de minimizar la masa, los índices serán una combinación de propiedades limitadas por la resistencia y la rigidez respectivamente. A continuación, se indican los índices de rendimiento para ambas limitaciones de diseño.

Representando los índices de optimización en los ejes, combinamos los dos objetivos en el mismo gráfico. Las expresiones de los índices de rendimiento (índices de material) se pueden hallar con la función de *Ayuda* del menú. Se introducen en la *Etapa Gráfico* mediante el icono *Avanzado*, que abre el editor de ecuaciones. Utilizamos:

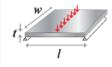
$$\rho I \sigma_f^{1/2}$$

Para el eje Y (resistencia a flexión), y:

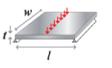
$$\rho I E_f^{1/3}$$

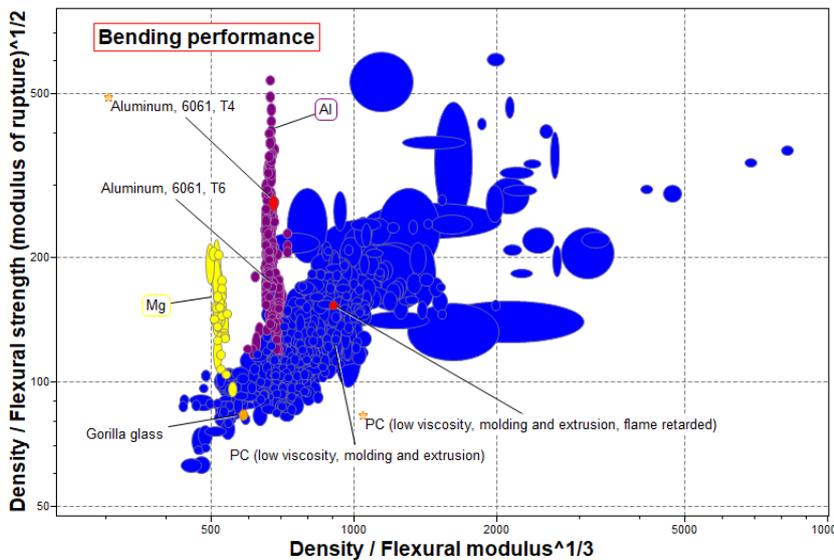
Para el eje X (módulo de flexión).

Stiffness-limited design at minimum mass

FUNCTION AND CONSTRAINTS ¹		MAXIMIZE ²	MINIMIZE ²
Panel in bending		length, width fixed; thickness free	$E_f^{1/3} / \rho$ $\rho / E_f^{1/3}$

Strength-limited design at minimum mass

FUNCTION AND CONSTRAINTS ³⁻³		MAXIMIZE ²	MINIMIZE ²
Panel in bending		length, width fixed; thickness free	$\sigma_f^{1/2} / \rho$ $\rho / \sigma_f^{1/2}$



Este gráfico refleja mejor la situación real. Al haber minimizado ambos índices, los “mejores” materiales aparecen cerca de la esquina inferior izquierda. El Al tiene mejor comportamiento respecto a la rigidez, y el PC más resistencia, así que debe hallarse un compromiso. Al estar analizando materiales de uso actual, tenemos la certeza de que ambas opciones son “aptas” en cierto sentido. De cara a mejorar las propiedades, se pueden explorar las alternativas con gráficos de este tipo, utilizando el PC con retardante de llama y el Al T6 como ejemplos.

La pantalla LCD es un elemento interesante tanto desde el punto de vista del material, como por su integridad mecánica. Desarrollada en los años 60 por Corning, consiguió su popularidad actual al aplicarse en teléfonos y *Tablets*. Si añadimos un registro (haciendo clic derecho) con las propiedades estimadas del *Gorilla glass* en el gráfico comparativo, vemos que su comportamiento a flexión es mejor que el de los materiales para carcasa. Los valores asumidos son razonables: Densidad: 2,420-2,430 kg/m³, Ef: 75-77 GPa y σf: 800-895 MPa.

4. Cómo investigar materiales y componentes críticos con CES EduPack

En el *Nivel 3* de CES EduPack, hay información sobre la composición del material en cada registro. En la base de datos *Sustainability* también hay enlaces directos desde los componentes principales a la tabla de datos de *Elements*, con información adicional. Los elementos críticos no están definidos a escala global, pero el concepto es una valoración del riesgo de su futuro suministro, así como de la dificultad de encontrar un sustituto que realice la misma función. Esto depende de la disponibilidad de recursos en el país de fabricación y de la aplicación tecnológica específica, y puede cambiar al encontrar nuevas reservas, o con la situación política o legislativa.

Composition overview (extracto del registro del Al 6061)			
Compositional summary ⓘ			
Al96.99 / Mg0.8-1.2 / Si0.4-0.8 / Cu0.15-0.4 / Cr0.04-0.35 (impurities: Fe<0.7, Zn<0.25, Mn<0.15, Ti<0.15, Other<0.15)			
Material family	ⓘ	Metal (non-ferrous)	
Base material	ⓘ	Al (Aluminum)	
Composition detail (metals, ceramics and glasses)			
Al (aluminum)	ⓘ	* 95.8	- 98.6 %
Cr (chromium)	ⓘ	0.04	- 0.35 %
Cu (copper)	ⓘ	0.15	- 0.4 %
Fe (iron)	ⓘ	0	- 0.7 %
Mg (magnesium)	ⓘ	0.8	- 1.2 %
Mn (manganese)	ⓘ	0	- 0.15 %
Si (silicon)	ⓘ	0.4	- 0.8 %
Ti (titanium)	ⓘ	0	- 0.15 %
Zn (zinc)	ⓘ	0	- 0.25 %
Other	ⓘ	0	- 0.15 %

Tanto la UE como EE. UU. han publicado listas de elementos críticos, incluidas en CES EduPack: a la derecha se muestran las listas de 2017. Estos elementos son críticos por su importancia económica o tecnológica, su dificultad de sustitución o el riesgo en su cadena de suministro (debido por ejemplo a monopolio, escasez de suministros, precios volátiles o conflictos locales).

Antimony **	Gadolinium *	Molybdenum *	Silicon *
Arsenic *	Gallium **	Neodymium **	Strontium *
Barium *	Germanium **	Niobium *	Tantalum +
Beryllium **	Holmium *	Osmium **	Tellurium +
Bismuth **	Indium **	Palladium **	Terbium **
Carbon, graphite *	Iridium **	Platinum **	Thorium *
Cerium **	Lanthanum**	Praseodymium *	Thulium **
Chromium **	Lithium +	Promethium *	Tin +
Cobalt **	Lutetium *	Rhodium **	Tungsten **
Dysprosium **	Magnesium *	Ruthenium **	Ytterbium *
Erbium **	Manganese +	Samarium **	Yttrium **
Europium **	Mercury *	Scandium **	

* = EU Critical Materials list, + = US Critical Materials list

Si consideramos nuestros dos materiales candidatos para la *Tablet*, ninguno contiene más de un 5% en peso de elementos críticos, tal y como se indica en su hoja de datos. Véase a continuación el PC con retardante de llama:

Restricted substances risk indicators		
RoHS (EU) compliant grades?		
REACH Candidate List indicator (0-1, 1 = high risk)		0.18
Notes May contain restricted (wt%): Flame-retardant up to 15%, Stabilizer / Pigment up to 0.7%, UV-stabilizer up to 1.9%		
SIN List indicator (0-1, 1 = high risk)		0.18
Notes May contain restricted (wt%): Flame-retardant up to 15%, Stabilizer / Pigment up to 0.7%, UV-stabilizer up to 1.9%		
Critical materials risk		
Contains >5wt% critical elements?		No

Los indicadores de *Riesgo de materiales críticos* y *Riesgo de sustancias restringidas* aparecen en las bases de datos *Nivel 3*, como se ve en la imagen de la izquierda. Haciendo clic sobre el icono informativo se accede a enlaces como la Restricción de Sustancias Peligrosas en la EU (EU RoHS), la legislación REACH, y la lista SIN.

En la base de datos *Sustainability*, también hay una tabla de datos de *Legislación y Regulaciones* que resume los requerimientos legales más importantes relacionados con los materiales, como la última directiva RoHS2 y la legislación REACH. La validez de los materiales depende de las sustancias específicas con las que se fabriquen. Por ejemplo, un polímero podría contener retardantes de llama polibromados (e.g., polibromobifenilos, PBB), algunos de los cuales están restringidos ("prohibidos") para aplicaciones concretas, como aparatos electrónicos, pero permitidos en otras. En este ejemplo, los indicadores de Sustancias Restringidas muestran que nuestro polímero policarbonato podría contener diversos aditivos restringidos. Un valor de riesgo de 0,18 es significativo, por lo que es importante seleccionar un grado de polímero diseñado específicamente para componentes electrónicos comercializados a escala mundial, o sustituir el material por otro que presente baja inflamabilidad y alta estabilidad a luz UV sin utilizar aditivos químicos potencialmente restringidos.

Table:	Legislation and Regulations
Subset:	Legislation and Regulations
	Legislation and Regulations
	Advisory organizations
	Asian Directives
	Environmental taxes
	EU Directives and Regulations
	Battery directive
	Control of Substances Hazardous to Health (COSHH)
	Ecodesign Directive
	End-of-Life Vehicles Directive (ELV)
	Energy Efficient Buildings Directive
	EU Automotive Fuel Economy Policy on carbon emissions
	Hazardous Substances Directive (RoHS2)
	Landfill Directive
	Product Liability Directive
	Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemical Substances Directive (REACH)
	SAVE Directive
	Supply-Chain Due Diligence (2014)
	The EU FLEGT Action Plan (2003)
	The EU Packaging Directive
	The EU Plant Health Directive (2000)
	The Reusing, Recycling and Recovering of Motor Vehicles
	UK Packaging Regulations (2003)
	Volatile Organic Compounds Directive (VOCs)
	Waste Electrical and Electronic Equipment Directive (WEEE)
	Waste Framework Directive (WFD)
	Water Framework Directive
	Health and Safety
	International Agreements and Protocols
	Standards
	Trading schemes and Subsidies
	US Environmental legislation

Recycling and end of life				
Recycle				
Embodied energy, recycling		* 32.4	- 35.8	MJ/kg
CO2 footprint, recycling		* 2.54	- 2.81	kg/kg
Recycle fraction in current supply		40.5	- 44.7	%
Downcycle				
Combust for energy recovery				
Landfill				
Biodegrade				

Los retardantes de llama también son problemáticos para el reciclaje. Aunque en teoría el PC sin carga y con retardante de llama se puede reciclar, necesitaría un ciclo cerrado, ya que sus propiedades son distintas a las de otros grados de PC, a razón de sus aditivos. Esto disminuiría el valor del polímero, haciendo del reciclado una opción poco atractiva.

El AI 6061 (a la derecha) es más adecuado en cuanto a sustancias restrictivas. Los metales y aleaciones que siempre cuentan con elementos restringidos en su composición no son admisibles, mientras que si *pueden* contener estos elementos como impurezas (no siempre presentes) se asume que disponen de grados admisibles. AI 6061 pasa la prueba, riesgo=0.

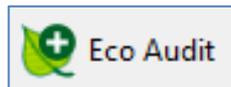
No se aceptan grados con más del % en peso de:

- 0.1% Plomo
- 0.1% Mercurio
- 0.01% Cadmio
- 0.1% Cromo hexavalente (VI o Cr6+)
- 0.1% Polibromobifenilos (PBB)
- 0.1% Polibromodifenil éteres (PBDE)

Restricted substances risk indicators		
RoHS (EU) compliant grades?	ⓘ	✓
REACH Candidate List indicator (0-1, 1 = high risk)	ⓘ	0
SIN List indicator (0-1, 1 = high risk)	ⓘ	0
Critical materials risk		
Contains >5wt% critical elements?	ⓘ	No
Abundance risk level	ⓘ	Medium
Highest risk elements		Copper
Sourcing and geopolitical risk level	ⓘ	High
Highest risk elements		Silicon
Environmental country risk level	ⓘ	Medium
Highest risk elements		Silicon
Price volatility risk level	ⓘ	Very low
Highest risk elements		Copper
Conflict material risk level	ⓘ	Caution
Highest risk elements		Copper

5. Eco Audit e investigación de materiales críticos para *tablets* ligeras

Sustituyendo uno de los principales componentes estructurales, el PC con retardante de llama de la carcasa posterior, por AI 6061, eliminamos el riesgo de sustancias restringidas en el diseño del material y mejoramos su reciclabilidad. Hemos usado Eco Audit+ para investigar las consecuencias de esta modificación en el producto. La siguiente tabla muestra una BOM simplificada para una *Tablet* genérica. Se omiten procesos de fabricación y mecanización secundarios. Observa los indicadores de materiales peligrosos y restringidos, que dan mayor concienciación en el diseño.



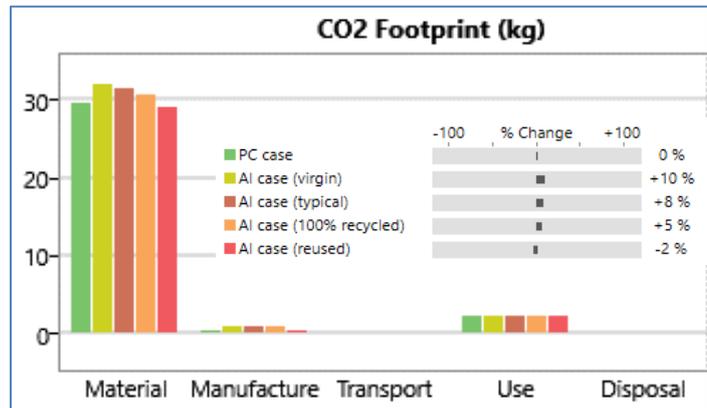
Qty.	Component name	Material	Recycled content	Mass (kg)	Primary process	Secondary process	% removed	End of life	% recovered
1	Casing\Backplate	PC (low viscosity, molding and extrusion, flame retarded)	Virgin (0%)	0.07	Polymer molding		0	Landfill	100
4	Casing\Metal screws	Stainless steel, austenitic, AISI 316LVM, annealed	Typical %	0.0005	Forging		0	Landfill	100
6	Casing\Metal tabs	Stainless steel, austenitic, AISI 316LVM, annealed	Typical %	1e-05	Forging		0	Landfill	100
4	Casing\Plastic tabs	ABS (rubber modified, injection molding and extrusion)	Virgin (0%)	0.0025	Polymer molding		0	Landfill	100
1	Casing\Bottom plate	ABS (medium-impact, injection molding)	Virgin (0%)	0.011	Polymer extrusion		0	Landfill	100
1	Display\LCD panel	LCD panel (liquid crystal display)	Virgin (0%)	0.16	Incl. in material value		0	Downcycle	100
1	Display\Glass	Alumino silicate - 1720	Virgin (0%)	0.18	Glass molding		0	Landfill	100
1	Display\Plastic frame	ABS (high-impact, injection molding)	Virgin (0%)	0.008	Polymer molding		0	Landfill	100
1	Mainboard\PCB	Printed wiring board (for laptop)	Virgin (0%)	0.047	Incl. in material value		0	Downcycle	100
1	Interior parts\Antenna	Brass, CuZn36, C26800, hard (basis brass)	Typical %	0.0011			0	Landfill	100
1	Interior parts\Connector	Silicone (VMQ, heat cured, 10-30% fumed silica)	Virgin (0%)	0.0015	Polymer molding		0	Landfill	100
1	Interior parts\Rubber strip	Silicone (VMQ, heat cured, 10-30% fumed silica)	Virgin (0%)	0.0044	Polymer molding		0	Landfill	100
1	Interior parts\Battery housing	ABS (high-impact, injection molding)	Virgin (0%)	0.02	Polymer molding		0	Landfill	100
2	Interior parts\Speakers\ABS	ABS (high-impact, injection molding)	Virgin (0%)	0.001	Polymer molding		0	Landfill	100
2	Interior parts\Speakers\Aluminum	Aluminum, 5005, H14	Typical %	0.0005	Rough rolling		0	Landfill	100
1	Battery	Li-Ion, rechargeable battery (for laptops)	Virgin (0%)	0.127	Incl. in material value		0	Downcycle	100

Como se ve en la BOM anterior, ciertos componentes electrónicos (LCD, placas de circuitos, baterías...) se han añadido a la base de datos para representar partes genéricas. Se puede acceder a los registros a través del *Buscador*, siempre que el subconjunto *<Todos los registros>* esté seleccionado. Tienen información detallada sobre composiciones típicas de dispositivos electrónicos, que hemos aplicado a este caso. El siguiente gráfico resume el resultado del Eco Audit, comparando los materiales candidatos con otras opciones.

A continuación, se recogen 4 escenarios alternativos con Al como sustituto del PC, con diferentes grados de circularidad, desde un ciclo abierto con Al virgen y vertedero, hasta un ciclo cerrado reutilizando la carcasa.

Component name	Material	Recycled content	Mass (kg)	Primary process	Secondary process	% removed	End of life	% recovered
Casing\Backplate	Aluminum, 6061, T4	Virgin (0%)	0.13	Extrusion, foil rolling	Fine machining	80	Landfill	100
Casing\Backplate	Aluminum, 6061, T4	Typical %	0.13	Extrusion, foil rolling	Fine machining	80	Recycle	100
Casing\Backplate	Aluminum, 6061, T4	100.0%	0.13	Extrusion, foil rolling	Fine machining	80	Recycle	100
Casing\Backplate	Aluminum, 6061, T4	Reused part	0.13	Not applicable	Not applicable	0	Reuse	100

En el Eco Audit se puede apreciar que, de todos los escenarios investigados, la fase dominante en uso de energía, y por lo tanto en huella de carbono, es la de producción del material, por encima de las de uso o fabricación. Hemos asumido 22.000 km de transporte marítimo (de Shanghái a Rotterdam) y un uso (recarga) de 10 W, 1 h, 250 días al año en Europa. La sustitución por aluminio implica un aumento del 10% tanto en uso de energía como en huella de carbono, por la mayor masa del componente y los procesos de mecanización implicados.



No obstante, el mayor impacto de la solución del Al se puede contrarrestar usando materiales reciclados y procesos de reciclaje en el fin de vida. En total, un ciclo cerrado de reutilización del aluminio resulta en un uso de energía y una huella de carbono algo menores (2%) que los del PC tras 2 años de uso. Sin embargo, el coste no varía. Para obtener información detallada del impacto de cada componente, y mejorar el rendimiento de la fase dominante, se puede analizar el *Informe detallado* (icono junto a *Gráfico*). En el Al virgen, los causantes de más emisiones de CO₂ son la batería y la placa de circuito impreso (40% cada uno).

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	CO2 footprint (kg)	%
Casing\Backplate	Aluminum, 6061, T4	Virgin (0%)	0.13	1	0.65	3.1	9.8
Casing\Metal screws	Stainless steel, austenitic, AISI 316LVM, annealed	Typical %	0.0005	4	0.002	0.0084	0.0
Casing\Metal tabs	Stainless steel, austenitic, AISI 316LVM, annealed	Typical %	1e-05	6	6e-05	0.00025	0.0
Casing\Plastic tabs	ABS (rubber modified, injection molding and extrusion)	Virgin (0%)	0.0025	4	0.01	0.04	0.1
Casing\Bottom plate	ABS (medium-impact, injection molding)	Virgin (0%)	0.011	1	0.011	0.04	0.1
Display\LCD panel	LCD panel (liquid crystal display)	Virgin (0%)	0.16	1	0.16	2.9	9.1
Display\Glass	Alumino silicate - 1720	Virgin (0%)	0.18	1	0.18	0.17	0.5
Display\Plastic frame	ABS (high-impact, injection molding)	Virgin (0%)	0.008	1	0.008	0.029	0.1
Mainboard\PCB	Printed wiring board (for laptop)	Virgin (0%)	0.047	1	0.047	13	39.3
Interior parts\Antenna	Brass, CuZn36, C26800, hard (basis brass)	Typical %	0.0011	1	0.0011	0.0025	0.0
Interior parts\Connector	Silicone (VMQ, heat cured, 10 -30% fumed silica)	Virgin (0%)	0.0015	1	0.0015	0.0098	0.0
Interior parts\Rubber strip	Silicone (VMQ, heat cured, 10 -30% fumed silica)	Virgin (0%)	0.0044	1	0.0044	0.029	0.1
Interior parts\Battery housing	ABS (high-impact, injection molding)	Virgin (0%)	0.02	1	0.02	0.073	0.2
Interior parts\Speakers \ABS	ABS (high-impact, injection molding)	Virgin (0%)	0.001	2	0.002	0.0073	0.0
Interior parts\Speakers \Aluminum	Aluminum, 5005, H14	Typical %	0.0005	2	0.001	0.0087	0.0
Battery	Li-Ion, rechargeable battery (for laptops)	Virgin (0%)	0.13	1	0.13	13	40.5
Total				29	1.2	32	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

6. Análisis y control de realidad

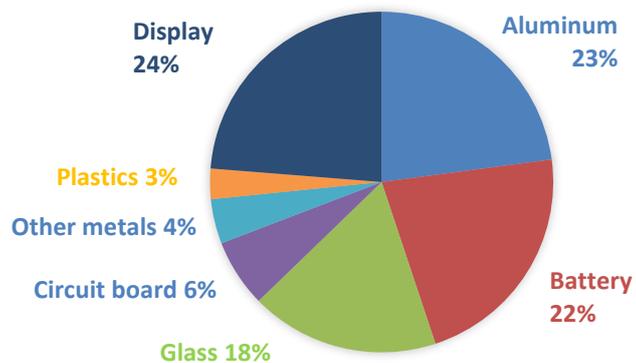
En este *Caso Industrial Avanzado*, nos hemos desviado ligeramente de la metodología de selección de materiales tradicional, que filtra grandes cantidades de materiales. Esta metodología sistemática se usa generalmente para nuevos productos. Hemos partido, en cambio, de referencias de productos existentes para destacar las propiedades de dos alternativas viables para la carcasa de una *Tablet*: policarbonato y aluminio.

En cuanto a los principales índices de rendimiento mecánico, resistencia y rigidez a flexión, tanto el PC como el Al 6061, elegidos en representación de materiales genéricos de carcasas, presentan un comportamiento intermedio, pudiéndose encontrar materiales similares con mejores índices [4]. El cristal de la pantalla es un componente crítico para la integridad estructural, pero al añadir las propiedades estimadas del *Gorilla glass* en el gráfico comparativo se ve que se comporta mejor que los materiales de la carcasa en términos de resistencia y rigidez, por lo que no será un factor limitante en este aspecto. El *Gorilla glass* es un álcali-aluminosilicato de dureza y resistencia extraordinarias, gracias a la sustitución de iones de sodio por potasio (ligeramente más grandes) cerca de la superficie, lo que crea tensiones residuales de compresión.

En materia de sostenibilidad, la carcasa de plástico presenta verdaderos problemas, ya que contiene retardantes de llama que pueden estar restringidos. A modo de ejemplo, la introducción de una legislación de la UE más estricta en 2006 llevó al cese de la comercialización del teléfono Treo 650 de Palm, debido a las regulaciones RoHS que limitaban las cantidades aceptables de sustancias peligrosas en productos electrónicos [5]. La opción del Al ha sido adoptada, por ejemplo, por Apple, para reducir estas sustancias y mejorar el reciclaje, que es difícil de realizar en las carcasas de polímeros con aditivos. En 2007, el director de Apple, Steve Jobs, redactó una carta abierta [6] destacando los cambios de la política medioambiental de la empresa, introduciendo aluminio de grado de aviación específicamente para mejorar su ciclo de reciclaje [7]. El aluminio reciclado utiliza solo un 5% de la energía requerida para fabricar aluminio virgen, y el proceso genera un 95% menos de gases de efecto invernadero. El director de la empresa de aluminio Alcoa, Klaus Kleinfeld, afirma que el 75% del aluminio creado desde 1888 todavía está en uso en la actualidad [7].

Ya que los materiales y procesos de fabricación son factores clave en materia de sostenibilidad, Apple aporta un ejemplo interesante para los dispositivos como las *Tablets*. El aluminio se usa no solo en portátiles, sino también en iPhones o iPads, tal y como se muestra a la derecha. Además, se han eliminado las sustancias restringidas y peligrosas (Berilio, Mercurio, Plomo, Arsénico, PVC, Ftalatos y retardantes de llama bromados), lo que refleja la importancia dada a las decisiones de materiales.

Materials and components in iPad 2



Otro aspecto al que se hace referencia en la sección previa del Eco Audit es la economía circular. Las carcasas de Al son más resistentes (frente a desgaste, resistencia a rayado, degradación UV, etc.) que las de polímeros, duran más y se pueden reutilizar. Ya existen varios programas de devolución de *Tablets* y teléfonos para remodelaciones, utilizando algunas de sus piezas en nuevos productos, y se han desarrollado robots especializados por el fabricante para el desmontaje del iPhone 6. El informe de responsabilidad medioambiental de Apple 2017 [8] revela que los metales recuperados de viejos iPhones valen mucho dinero. Se extrajeron 27,8 toneladas de materias primas a partir de dispositivos desechados, 1 tonelada de oro entre ellos. El precio exclusivamente de ese oro ronda los 40 millones de USD. Además, la empresa recuperó 1,360 toneladas de cobre (valoradas en 6,4 millones) y 2,040 toneladas de aluminio (3,2 millones) [9].

7. ¿Qué aporta CES EduPack a la comprensión?

CES EduPack es un recurso de gran utilidad para enseñar la metodología de diseño usando herramientas gráficas. El profesor puede justificar con facilidad las decisiones de materiales y los estudiantes pueden explorar de manera interactiva diferentes vías para seleccionar y evaluar materiales en proyectos de forma realista. El objetivo de nuestros *Casos Prácticos Industriales Avanzados* es inspirar y guiar el desarrollo del producto, proporcionar el conocimiento necesario y facilitar la comprensión de la materia.

En este caso práctico sobre el estudio de una *Tablet*, CES EduPack sugiere las siguientes conclusiones:

- La base de datos *Sustainability* contiene numerosos materiales, así como información de gran utilidad para contribuir a la comprensión de las decisiones de materiales durante el proceso de desarrollo del producto. Hemos explorado con éxito el área de los productos electrónicos.
- Las *herramientas de visualización* nos facilitan rápidamente una vista general de las propiedades de materiales para poder comparar diferentes opciones para carcasas, por ejemplo, mediante el análisis de productos existentes. Se pueden incluir materiales novedosos o exclusivos, como el *Gorilla glass*.
- El *Eco Audit+* nos ayudó a estimar los pros y los contras del ciclo de vida del aluminio en comparación al policarbonato, en términos de *energía*, *huella de carbono* y *coste*. Aunque se debe ser consciente de las importantes incertidumbres que existen en torno a las eco-propiedades.
- Los resultados muestran que la placa inferior de la carcasa de Al 6061 sale bien parada de la comparación con el policarbonato con retardante de llama en cuanto a propiedades mecánicas, y el control de realidad indica que esta opción concuerda con la mentalidad sostenible de las grandes empresas en los últimos 10 años.

Referencias

1. www.statista.com/statistics/272595/global-shipments-forecast-for-Tablets-laptops-and-desktop-pcs/
2. Tehan, P. and Kandlikar, M., "Comparing Embodied Greenhouse Gas Emissions of Modern Computing and Electronics Products" including the 95-page supplement of "Supporting information", *Environmental Science and Technology*, Environ. Sci. Technol. 2013, 47, 3997–4003 (dx.doi.org/10.1021/es303012r).
3. Para la metodología, ver por ejemplo, M F Ashby, "Materials Selection in Mechanical Design", 5th edition, Butterworth Heinemann, Oxford, UK. (2016) ISBN: 978-0-08-100599-6.
4. Jason. M, "Analysis: iPhone 6S May Use 6013 Aluminum Alloy Instead of 7000 Series Alloys" Blog: dailytech.com (Gadgets), June 18, 2015
5. Nancy Gohring, www.macworld.com/article/1051643/treo.html
6. appleinsider.com/articles/07/05/02/steve_jobs_unveils_changes_to_apples_environmental_policy.html
7. Josh Ong, appleinsider.com/articles/11/03/26/apples_aluminum_strategy_aids_shift_to_greener_products_report.html
8. https://images.apple.com/environment/pdf/Apple_Environmental_Responsibility_Report_2017.pdf
9. Daniel Cooper, <https://www.engadget.com/2016/04/15/apple-recycles-gold-makes-profit/>