



ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL MODELO DE GESTIÓN DE RAEE

MASTER EN INGENIERÍA Y GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL
2015 - 2016

Tutor

Iván Botamino

Componentes

Marina Quintanilla Villar

Lola Calderón Barat

Luis Marcelo De la Cruz Gómez

Ignacio Fernández García

CONTENIDO

0. Objeto del proyecto	3
1. Introducción a los rae y materias primas críticas	4
1.1. ¿qué son los rae?	4
1.2. Problemática	7
2. Legislación	13
2.1. Ámbito de aplicación	15
3. Materias primas críticas	18
4. Selección del flujo de rae objeto del proyecto	22
5. Análisis de los diferentes modelos de gestión de rae	24
5.1. Gestión de los rae	24
5.2. Modelos de gestión	27
5.3. Sistemas integrados de gestión	30
5.4. Futuro en la gestión de rae	33
6. Economía circular	34
6.1. Definición	34
6.2. Principios	34
6.3. Características	36
6.4. Escuelas de pensamiento	38
6.5. Economía circular en la ue	42
6.6. Diagrama de la economía circular	52
7. Desarrollo de un indicador de circularidad. Aplicación práctica.	53
7.1. Modelo de indicadores de circularidad	53
7.2. Aplicación práctica. Teléfono móvil.	57
8. Estudio de alternativas de mejora	68
8.1. Ecodiseño	68
8.2. Reducción de la toxicidad	69
8.3. Aumento de la eficacia del reciclaje	69
8.4. Reparación	69
9. Conclusiones	71
10. Bibliografía	72

0. OBJETO DEL PROYECTO

El presente Proyecto Fin de Máster al que esta memoria hace referencia, así como todo el material incluido en la misma, tiene como objetivo final la aplicación de los conceptos de la Economía Circular para conseguir la mejora en la gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (en adelante RAEE).

Por lo tanto, y para llevar a cabo el objetivo planteado, en este documento se abordarán las siguientes cuestiones:

- Proporcionar una idea general sobre los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, acotando exactamente qué se entiende por ellos y, además, mostrando los problemas que vienen asociados a los mismos en las vertientes económica, ambiental y social.
- Presentar la legislación, a nivel europeo y estatal, de aplicación directa para los RAEE, con idea de conocer las obligaciones de los productores, distribuidores y usuarios de estos aparatos, y familiarizarse con las distintas maneras de gestionarlos.
- Realizar un análisis de las materias primas que, según la Comisión Europea, son consideradas como fundamentales por su importancia para la economía comunitaria y los riesgos asociados a su escasez, algunas de las cuales se encuentran directamente en componentes esenciales de estos aparatos, mientras que otras son necesarias en los procesos de fabricación relacionados.
- Seleccionar un flujo concreto de estos residuos para su estudio, basándose en cifras de abundancia, importancia económica y posibilidades de mejora en su gestión.
- Estudiar en detalle la gestión actual de los RAEE en nuestro país, incluyendo las posibilidades de reciclaje y los modelos de gestión existentes.
- Conocer los conceptos generales de la Economía Circular, que busca conseguir un modelo económico sostenible, cuyos flujos pasen del actual esquema lineal a uno de bucles cerrados, en los que, por ejemplo, los residuos no sean asociados directamente a desecho sino que puedan emplearse como materias primas de nuevos procesos.
- Desarrollar un modelo, basado en indicadores de la Economía Circular, que permita medir el grado de "circularidad" asociado a la gestión de estos residuos.
- A partir de dicho modelo y los resultados obtenidos, plantear una serie de alternativas de mejora que puedan aplicarse en la práctica para abordar la problemática asociada a los RAEE y acercarse a un modelo sostenible de gestión de estos residuos.

1. INTRODUCCIÓN A LOS RAEE Y MATERIAS PRIMAS CRÍTICAS

1.1. ¿Qué son los RAEE?

En primer lugar, resulta indispensable familiarizarse con el grupo de residuos que conformarán el conjunto de estudio del actual proyecto. Se habla de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE), como aquellos que para funcionar debidamente necesitan corriente eléctrica o campos electromagnéticos, y los aparatos necesarios para generar, transmitir y medir tales corrientes y campos, que están destinados a utilizarse con una tensión nominal no superior a 1.000 voltios en corriente alterna y 1.500 voltios en corriente continua, tal como define el Real Decreto 110/2015 sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Por lo tanto, se habrá de entender que los RAEE son aquellos aparatos eléctricos y electrónicos que pasan a ser residuos de acuerdo con la definición que consta en el artículo 3.a) de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Esto es, todos aquellos componentes, subconjuntos y consumibles que forman parte del producto en el momento en que se desecha.

Resulta de importancia entender con claridad la condición de residuo de todos estos materiales, tal y como lo recoge la legislación. Así, no deben confundirse con lo que se puede denominar "AEE usado", aquellos cuyo poseedor no desecha o no tiene la intención u obligación de desechar, sino que tiene la intención de que se les dé un uso posterior. Como se verá a lo largo del presente trabajo, que una mayor parte de los aparatos usados se consideren de esta forma y puedan reutilizarse posteriormente, en contra de ser directamente gestionados como residuos, será de suma importancia para abordar el problema que genera la desmedida generación de los mismos hoy en día.

Se establece una separación entre "RAEE domésticos", aquellos procedentes de hogares particulares o de fuentes comerciales, industriales, institucionales y de otro tipo que, por su naturaleza y cantidad, sean similares a los procedentes de hogares particulares; por exclusión directa, al resto se les pasa a denominar "RAEE no domésticos", o "RAEE profesionales".

Todas estas consideraciones sobre el conjunto de residuos objeto de estudio, deben relacionarse estrechamente con la definición exacta de lo que se entiende por **productor de AEE**. Se presenta aquí textualmente, lo que recoge el Real Decreto 110/2015.

Se entiende como productor de RAEE a cualquier persona física o jurídica que, con independencia de la técnica de venta utilizada en el sentido de la Ley 7/1996, de 15 de enero, de Ordenación del Comercio Minorista en materia de contratos a distancia:

- i. Esté establecida en España y fabrique AEE bajo su propio nombre o su propia marca, o los diseñe o fabrique y comercialice bajo su nombre o marca en el territorio español; o
- ii. esté establecida en España y revenda bajo su propio nombre o su propia marca AEE fabricados por terceros, sin que pueda considerarse «productor» al vendedor si la marca del productor figura en el aparato, conforme al inciso 1.º; o
- iii. esté establecida en España y se dedique profesionalmente a la introducción en el mercado español de AEE procedentes de terceros países o de otro Estado miembro; o
- iv. venda AEE por medios de comunicación a distancia directamente a hogares particulares o a usuarios profesionales en España, y esté establecida en otro Estado miembro o en un tercer país.

No serán considerados de esta forma quienes se limiten a prestar financiación.

Generalmente, se ha tendido a asociar directamente estos aparatos con el término general de 'electrodoméstico', si bien teniendo en cuenta el asombroso desarrollo tecnológico que se ha visto en los últimos años, ese concepto puede resultar algo difuso. Aunque es cierto que el grueso de los AEE está conformado por electrodomésticos, hay que tener claro que las categorías que se incluyen en la legislación abarcan un mayor número de dispositivos, tales como: productos sanitarios (aparatos de radioterapia o diálisis...); instrumentos de vigilancia y control (detectores de humos, termostatos...); y también otros como máquinas expendedoras o paneles solares.

En cuanto al sector de los electrodomésticos, este se puede dividir, a su vez, en los tres subsectores que se señalan a continuación:

- i. Electrodomésticos de gama blanca: grandes aparatos eléctricos para el hogar. Normalmente los que tienen relación con las tareas domésticas (lavadoras, neveras, hornos, lavavajillas, estufas, aires acondicionados...).
- ii. Electrodomésticos de gama marrón: los aparatos electrónicos usados para video, audio, telecomunicaciones e informática (televisores, cámaras de fotografía y vídeo, videojuegos, telefonía móvil, ordenadores personales...)
- iii. Pequeños electrodomésticos: similares a los de gama blanca pero de menor tamaño, como microondas, balanzas, aspiradoras, tostadoras...

En cualquier caso, los aparatos eléctricos y electrónicos son cada vez más y más numerosos en la sociedad actual, y la cifra de consumo de estos aumenta cada año en miles de toneladas en todo el mundo. De esta manera, últimamente se ha desarrollado una creciente preocupación acerca del rápido crecimiento de los residuos derivados de estos aparatos, es decir, los RAEE.

Ya en 1998 se generaban unos 6 millones de toneladas de estos residuos solo en la Unión Europea, y han crecido a un ritmo acumulativo de un 3-5% anual. Este incremento es tres veces mayor que el correspondiente a cualquier otro tipo de residuo.

En el siguiente gráfico, a modo de ejemplo, se muestran las cantidades de AEE puestos en el mercado para el período de estudio 2007-2012 (último disponible en Eurostat), en comparación con las cantidades recogidas y tratadas de RAEE. Se muestra un pico en la cifra de consumo por encima de las 10 millones de toneladas, para el año 2008.

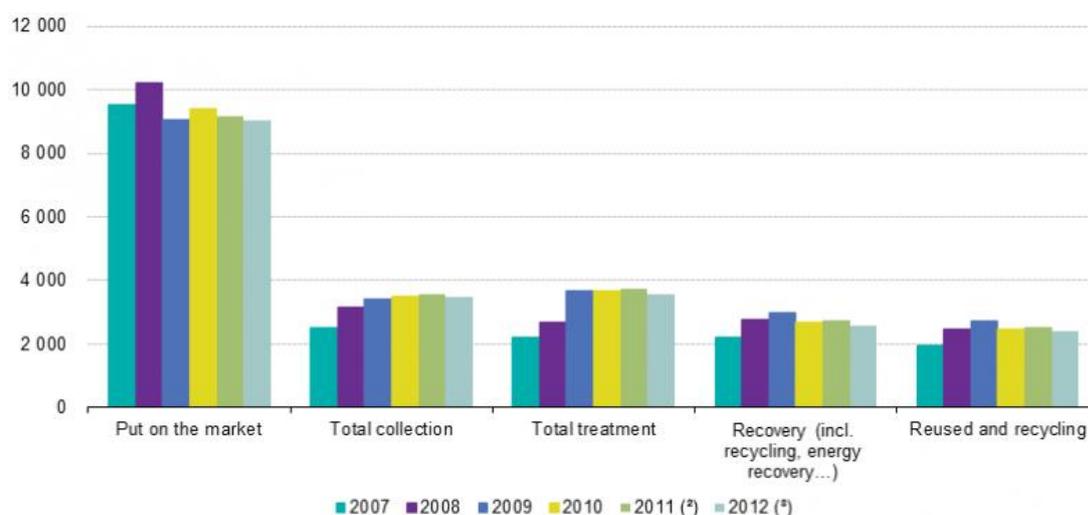


Figura - Toneladas de AEE en el mercado y RAEE tratados en la UE (Eurostat, 2015)

Estos números, en los que se observa la clara diferencia entre los productos puestos en el mercado y los que son finalmente recogidos y tratados, muestran por una parte la ineficacia de los sistemas de recogida actuales y las dificultades que supone la gestión de unos dispositivos que, como se verá más adelante, cuenta con diversos problemas asociados a las etapas finales de su ciclo de vida. Ahora bien, también reflejan las altas posibilidades de mejora en la manera de tratar los aparatos eléctricos y electrónicos una vez se convierten en residuos.

Por tanto, se aprecia con claridad que la generación y gestión posterior de estos residuos se ha convertido en un problema ambiental muy grave y es por eso que se han desarrollado directivas europeas y legislación estatal en esta materia.

Una escasa o mala gestión de los mismos tiene el potencial de producir graves impactos en los medios receptores como son, agua, suelo, aire, ecosistemas y, en última instancia, sobre la salud humana. Esto se debe al contenido en sustancias potencialmente peligrosas y a que, la mayor parte de las veces, estos terminan depositados en vertederos, se incineran o se recuperan sin ningún tratamiento previo de descontaminación.

Otro grave inconveniente surge de la escasez de los materiales que son empleados en la construcción de estos dispositivos, lo que vuelve a poner en relieve la trascendencia de una correcta gestión a lo largo de todo el ciclo de vida de los productos, especialmente en etapas finales, enfocado sobre todo a su posible recuperación. Esta escasez supone un importante reto económico y estratégico a nivel comunitario, lo que repercutirá sobre las políticas relacionadas con el abastecimiento de los mismos en los próximos años.

Ahora bien, es imprescindible señalar que si estos residuos se gestionan de manera adecuada pueden convertirse en recursos que produzcan un importante ahorro en materias primas y se alejen de ocasionar problemas medioambientales y sociales a escala mundial.

1.2. Problemática

Son varias las razones por las que la generación de residuos derivados de aparatos eléctricos y electrónicos se ha convertido en una situación muy complicada de administrar desde los tres puntos de vista de la sostenibilidad: económico, ambiental y social. El aspecto de mayor importancia, como ya se ha comentado, es la ingente cantidad de residuos que se generan por el consumo de este tipo de dispositivos. Esas cifras de millones de toneladas generadas, provocan que los aspectos negativos que se van a presentar a continuación se vean amplificadas exponencialmente, hasta convertirse en problemas que se extienden desde el ámbito local hasta la escala mundial.

La variedad de productos afecta a la gestión

Como ya se ha visto, hay una enorme variedad de productos bajo la denominación de AEE, que tienen como consecuencia una alta dificultad en la gestión de los residuos que se derivan de ellos. Los mismos, además, tienen muy diferentes tamaños y propiedades, lo que provoca que su caracterización sea compleja por términos generales.

El uso de los AEE tiene su origen en ámbitos muy variados: doméstico, empresarial, industrial, sanitario... Se puede concluir que, en la actualidad, se trata de aparatos tan habituales en el día a día de la sociedad, que sería difícil encontrar un sector cualquier en el que no sean utilizados en menor o mayor medida. Como parte imprescindible del desarrollo tecnológico incesante del mundo actual, no solo las cifras de consumo de estos dispositivos se ven incrementadas, sino que constantemente se buscan nuevos diseños que mejoren prestaciones y funcionalidad de los mismos, lo que conlleva habitualmente el uso de materiales poco abundantes sobre la corteza terrestre.

Además, esta gran variedad que existe, no se ve reflejada en la legislación actual. Como se verá posteriormente en esta memoria, los flujos de RAEE que se distinguen en la ley no se corresponden, ni mucho menos, con características específicas de los mismos. Este problema actual debe pasar a entenderse como una oportunidad futura, ya que para la mejora en la gestión sobre los mismos, estos deberían ser catalogados y divididos por razones de composición y posterior tratamiento, lo que facilitaría en gran medida todos los procesos posteriores necesarios.

Muchos componentes y materiales. Dificultad en el reciclaje

Los AEE incluyen numerosos componentes como son: piezas metálicas y plásticas variadas, tarjetas de circuitos impresos, tubo de rayos catódicos, pantallas de cristal líquido, cables, pilas, baterías, diversos fluidos... La proporción de cada uno de estos materiales dependerá del tipo de AEE en cuestión, pero un dispositivo cualquiera de telecomunicaciones puede llegar a contener más de 60 elementos diferentes.

Una composición orientativa de los RAEEs se muestra en la tabla siguiente:

Metales Ferrosos	30%
Metales no Ferrosos	12%
Circuitos Impresos	7%
Plásticos	26%
Residuos Peligrosos	15%
Inertes	10%

Tabla - Composición general de los RAEE (Elaboración propia)

Esto supone un problema importante para la caracterización y posterior tratamiento de los RAEE, ya que distintos materiales y componentes obligan a realizar desmontajes exhaustivos previos a cualquier operación de tratamiento.

Si tomamos como ejemplo un teléfono móvil, las piezas metálicas representan hasta un 23% de su peso y se puede encontrar presencia de más de 40 de los metales recogidos en el sistema periódico. Desde metales básicos como el cobre, otros menos comunes como el cobalto o el indio, hasta metales preciosos como la plata, el oro y el paladio.

En la siguiente figura, se pueden ver los metales de la tabla periódica que se encuentran formando parte de un teléfono móvil.

La imagen muestra una tabla periódica de elementos químicos. Los elementos que están resaltados en rojo, indicando su presencia en un teléfono móvil, son: H, Li, Na, K, Rb, Cs, Fr, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Sc, Y, La, Ac, Ti, Zr, Hf, Ta, Nb, Mo, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Ag, Cu, Zn, Ga, In, Sn, Pb, Bi, Po, At, Rn, Al, Si, Ge, Se, Te, I, Xe, Br, Kr, Ar, Ne, He. Además, se ven algunos elementos no metálicos como B, C, N, O, F, S, Cl, P, As, Sb, Te, I, Xe, Br, Kr, Ar, Ne, He.

Figura - Elementos presentes en un teléfono móvil (MAGRAMA, 2016)

Sin embargo, esta variedad también supone que se puedan encontrar numerosos materiales valorizables como parte de los RAEE, tal como los metales que se recogen aquí, y que de manera habitual resultan mucho más rentables al ser recuperados mediante el tratamiento posterior necesario, en comparación con la extracción y procesamiento de las materias primas minerales.

Contienen sustancias peligrosas

En estrecha relación con alta variedad de elementos que componen este tipo de aparatos, aparece la presencia de sustancias peligrosas para el medio ambiente y la salud humana, especialmente si su gestión como residuo no se realiza de manera adecuada.

En general, los AEE están formados por materiales con procesos de obtención de relativa complejidad, como plásticos o metales, muchos de los cuales son, además, nada fáciles de gestionar una vez se convierten en desechos. La sustitución de estos materiales por otros más ecológicos, parece complicada porque muchos de ellos son estrictamente necesarios para su funcionalidad.

Entre los componentes mayoritarios que podemos encontrar en estos dispositivos, se pueden diferenciar dos grandes grupos según sus características de peligrosidad:

- Componentes no contaminantes: entre ellos se pueden enumerar los siguientes: oro, plata, bario, tantalio, vanadio, rutenio, estaño, cobre, cobalto, selenio, germanio, galio, paladio, metales ferrosos (hierro), metales no ferrosos (aluminio), silicio, litio, manganeso, níquel, grafito, electrolitos, tierras raras, berilio, europio, rutenio, titanio.
- Componentes peligrosos por su poder de contaminación: a modo ejemplificativo se pueden mencionar, entre otros, el arsénico, el bario, el berilio, el cadmio, el cromo VI, el plomo, el litio, el mercurio y el níquel.

Además, el que presenten o no sustancias peligrosas marcará de manera notable los procesos necesarios de gestión y posible recuperación:

- Aquellos que contienen sustancias peligrosas, necesitarán de fases de desmontado y tratamientos más intensos, con el fin de retirar esos elementos perjudiciales para proteger la salud humana y los ecosistemas.
- Mientras que si no presentan ninguna sustancia de carácter peligroso, serán generalmente más fáciles de gestionar y se podrá incidir más en el reciclado.

Tanto para la protección ambiental, como por esta posible mayor recuperabilidad de los materiales presentes en los RAEE, la recomendación habitual para cualquier residuo generado de rebajar el número de materias peligrosas que contiene, se vuelve de vital importancia en el caso concreto de estos dispositivos. De la misma manera, cada etapa en la gestión de los mismos (recogida, almacenamiento, transporte y tratamientos), deben realizarse en condiciones de alta seguridad, sin mezclarse con otros flujos de residuos y evitando roturas que liberen estas sustancias peligrosas al medio natural.

Tecnologías de fabricación poco respetuosas

Sumado a los potenciales impactos que los diferentes residuos generados pueden tener sobre el medio ambiente, con presencia habitual de sustancias peligrosas como ya se ha señalado, las afecciones pueden aparecer en cualquier punto del ciclo de vida de los productos eléctricos y electrónicos.

Más allá de etapas comunes con prácticamente la totalidad de bienes de consumo actuales, tales como transporte desde fábrica o distribución a los puntos de venta, cuyos impactos sobre los distintos compartimentos ambientales están bien estudiados, en el diseño y fabricación de AEE las tecnologías necesarias son de muy alto potencial contaminante.

Teniendo en cuenta los materiales base que conforman estos productos, la extracción y obtención de los mismos conlleva en su mayoría procesos con posibles impactos negativos, como son: extracción minera, metalurgia y siderurgia, industria petroquímica, industria electrónica... De nuevo se antoja imposible conseguir la obtención final de los productos eléctricos y electrónicos mediante tecnologías completamente limpias, pero la mejora y optimización constante de estos procesos debe tratarse de un obligación presente y futura.

Además, estos problemas ejemplifican muy claramente la importancia de análisis y herramientas de ciclo de vida y gestión integral de estos aparatos, con el objetivo de conseguir unos productos mucho más respetuosos ya desde las fases tempranas de diseño (ecodiseño), con materiales menos contaminantes y menor número de sustancias peligrosas, permitiendo a su vez mayor facilidad a la hora de la reutilización o reciclado en su fase de residuo.

Problemática social

Por último, hay que destacar los graves problemas que han afectado a numerosos países, mayoritariamente en vías de desarrollo, debidos a la enorme cantidad de residuos eléctricos y electrónicos generados a nivel mundial. Son numerosos los casos de áreas, en estos países más desfavorecidos, que se han convertido en auténticos vertederos de residuos tecnológicos, cuyo origen principal son las exportaciones ilegales procedentes de países desarrollados.

Esto provoca que la mayoría de la población de estas zonas conviva con residuos de todo tipo a la puerta de sus casas, con gravísimas afecciones al medio ambiente y a la salud humana (bajas importantes en la esperanza de vida).

Así, núcleos urbanos en países de África y Asia (Nigeria, China, India, Pakistán...), se han convertido en auténticas "ciudades RAEE", con montañas de aparatos electrónicos que no pueden gestionar adecuadamente, sino utilizando medios manuales e ineficientes que provocan contaminación local y ponen en riesgo su propia salud.

Un claro ejemplo se encuentra en Ghana, con uno de las zonas más contaminadas del planeta debido al vertedero tecnológico de Agbogbloshe, que alberga uno de los mayores mercados de África en materia de RAEE. Se calcula que esta práctica pone a más de 250.000 personas en peligro por condiciones totalmente insalubres.

Esta problemática ha llevado a incorporar a la legislación de los países desarrollados nuevas restricciones y sanciones legales al envío incontrolado de residuos fuera de sus fronteras. Estas medidas de control han reducido la cantidad los residuos que llegan a estos país, pero el problema sigue presentando magnitudes desproporcionadas.

Resumiendo, hay dos motivos principales por los que se ha realizado este envío incontrolado de RAEE a países en vías de desarrollo:

- i. La mano de obra barata
- ii. Leyes ambientales y normativas de trabajo muy permisivas o inexistentes.

En la siguiente tabla se recogen algunos ejemplos de los procesos manuales que se llevan a cabo en estos poblados, con los elevadísimos peligros ambientales y de salud asociados que afectan tanto a los trabajadores como a las viviendas próximas, como enfermedades por humos inhalados durante la quema de circuitos electrónicos, vertidos ácidos, emisión de dioxinas...

Componente	Procesado	Peligro salud	Peligro ambiental
Tubos de rayos catódicos	Romper, arrancar la junta de cobre, y lanzar	-Silicosis -Inhalación y contacto con fósforo y cadmio	-Plomo, bario y otros metales pesados contaminando las aguas subterráneas -Emisión de fósforo tóxico
Placas de circuito impreso	Desoldar y arrancar los chips	-Inhalación de estaño y plomo -Posible inhalación de dioxinas brominadas, berilio, cadmio y mercurio	-Emisión al aire de las mismas sustancias
Procesado de placas de circuito	Quemar al aire abierto los circuitos,	-Inhalación por parte de los trabajadores y de los	-Contaminación por plomo y estaño del entorno más

impreso ya desmontadas	ya sin chips, para arrancar los metales que quedan	residentes cercanos de estaño, plomo, dioxinas brominadas, berilio, cadmio y mercurio -Irritación de las vías respiratorias	cercano, incluyendo tanto la superficie como las aguas subterráneas Emisión de dioxinas brominadas, berilio, cadmio y mercurio
Plásticos de ordenador y periféricos	Fragmentar y fundir a baja T ^a para ser reutilizados en plásticos	-Probable exposición a hidrocarburos, dioxinas brominadas y metales pesados	-Emisión de hidrocarburos, dioxinas brominadas y metales pesados
Cables	Quemar al aire abierto para recuperar el cobre	-Exposición de los trabajadores que viven en las áreas de quemado a dioxinas brominadas y cloradas, y a hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) cancerígenos	Emisión al aire, agua y suelo de cenizas de hidrocarburos, incluyendo HAP
Chips y otros componentes chapados	Arrancar químicamente utilizando ácido nítrico y ácido clorhídrico a lo largo de las orillas del río	-Lesiones permanentes provocadas por el contacto del ácido con la piel/ojos -Irritación de las vías respiratorias, edema pulmonar, fallo circulatorio y muerte provocada por la inhalación de vapor de los ácidos, cloro y SO ₂	-Hidrocarburos, metales pesados, sustancias brominadas, etc. Lanzados directamente al río y orillas -Acidificación del río que mata a los peces y la flora
Partes diversas del ordenador encajadas en plástico	Quemar al aire abierto para recuperar el acero y otros metales	Exposición de hidrocarburos, incluyendo HAP y dioxinas	-Emisión al aire, agua y suelo de cenizas de hidrocarburos, incluyendo HAP
Cartuchos de tóner	Utilizar pinceles para recuperar el polvo de tóner sin ninguna protección	-Irritación de las vías respiratorias -El polvo del tóner negro es un probable cancerígeno -La toxicidad de los tóneres de color cian, amarillo y magenta es desconocida	-La toxicidad de los tóneres de color cian, amarillo y magenta es desconocida

Tabla - Resumen del tratamiento y repercusiones de RAEE en países en desarrollo (Castán, 2007)

2. LEGISLACIÓN

En principio, se creó la Directiva 2002/96/CE de residuos eléctricos y electrónicos, que pretendía promover el reciclaje, la reutilización y la recuperación de los residuos de estos equipos con el fin de reducir su contaminación.

Esta directiva fue sustituida por la 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Debía ser incorporada a la legislación nacional antes del 14 de febrero de 2014, y finalmente fue traspuesta en nuestro país mediante el Real Decreto 110/2015, del 20 de febrero.

En ella, se establecen medidas destinadas a proteger el medio ambiente y la salud humana, previniendo o reduciendo los impactos negativos derivados de la generación y gestión de los RAEE. Para ello pretende mejorar el comportamiento ambiental de todos los agentes que intervienen en el ciclo de vida de los AEE, como son productores, distribuidores, consumidores y también aquellos agentes implicados en la recogida y tratamiento de estos residuos.

Esto quiere decir, que los productores deben financiar los costes de recogida y tratamiento de los aparatos eléctricos y electrónicos fuera de uso, y también deben encargarse de proporcionar una información adecuada a los interesados.

También confiere a los distribuidores un papel destacado en la retirada de los productos fuera de uso, a la hora de suministrar un nuevo artículo y asegurarse que el aparato se puede devolver de manera gratuita, siempre que se trate de un equipo similar y se haya utilizado para las mismas funciones que el nuevo.

A nivel estatal, el Real Decreto 110/2015 regula todas las fases de gestión de los RAEE, entre las que destacan aquellas medidas destinadas a la mejora de la trazabilidad de estos residuos y sus requisitos técnicos de tratamiento.

Derogó al Real Decreto 208/2005, si bien el periodo comprendido entre el 21 de febrero de 2015 y el 14 de agosto de 2018 será de transición. Durante dicho tiempo, el alcance será el mismo que el del anterior decreto exceptuando que se incluyen los paneles fotovoltaicos como nueva categoría.

El principal objetivo es recoger de forma separada el 85% de los residuos generados a partir de 2019, y se traten valorizando, entre el 70% y el 85% de su peso. También se establecen objetivos del 2% y el 3% para la preparación para reutilización en 2017.

El Real Decreto, además, diferencia entre dos vertientes de RAEE, que se van a explicar brevemente a continuación.

Cuando el residuo proviene de un hogar (doméstico):

- i. Deberán ser entregados para su correcta gestión. La entrega será sin coste para el último poseedor.
- ii. En caso de que el usuario adquiriera un nuevo producto, que sea equivalente o realice las mismas funciones que aquel desechado, podrá entregarlo en el acto de compra al distribuidor, que deberá recepcionarlo correctamente.
- iii. Las entidades locales deben de crear y gestionar los puntos limpios para la recogida de estos aparatos.

Cuando un RAEE no viene de un hogar (no doméstico, profesional):

- i. El productor será responsable de la gestión de los residuos.
- ii. Los productores establecerán sistemas para la recogida selectiva de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que no procedan de los hogares particulares y para que sean transportados a los centros de tratamiento autorizados.
- iii. Mediante acuerdos voluntarios, las entidades locales podrán recepcionar estos residuos sin coste. La recepción se hará conforme a las correspondientes ordenanzas pero de diferente manera al resto de residuos urbanos.

Esta nueva normativa también fomenta la prevención de residuos de este tipo por técnicas de preparación para la reutilización, ofreciendo la posibilidad de volver a poner en el mercado el nuevo producto que se ha reparado.

Además, persigue la mejora del control y de la supervisión de estos residuos por parte de administraciones públicas. Se creará un grupo de trabajo de RAEE de la Comisión de Coordinación, adscrita al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, que contará con la participación de los sectores afectados, especialmente, con los productores de AEE, los sistemas de responsabilidad ampliada del productor, los distribuidores y los gestores de RAEE.

Su objetivo es crear una Plataforma Electrónica que dispondrá de todos los datos de recogida y de gestión de los RAEE en tiempo real.

2.1. Ámbito de Aplicación

Desde el 13 de agosto de 2012 hasta el 14 de agosto de 2018, las consideraciones del Real Decreto 110/2015 se aplicará a los AEE que pertenecen al Anexo I:

1. Grandes electrodomésticos.
 - 1.1. Frigoríficos, congeladores y otros equipos refrigeradores.
 - 1.2. Aire acondicionado.
 - 1.3. Radiadores y emisores térmicos con aceite.
 - 1.4. Otros grandes electrodomésticos.
2. Pequeños electrodomésticos.
3. Equipos de informática y telecomunicaciones, excluyendo 4.1.
4. Aparatos electrónicos de consumo y paneles fotovoltaicos.
 - 4.1. Televisores, monitores y pantallas.
 - 4.2. Paneles fotovoltaicos de silicio.
 - 4.3. Paneles fotovoltaicos de telurio de cadmio.
 - 4.4. Otros aparatos electrónicos de consumo.
5. Aparatos de alumbrado (con excepción de las luminarias domésticas).
 - 5.1. Lámparas de descarga de gas.
 - 5.2. Lámparas LED.
 - 5.3. Luminarias profesionales.
 - 5.4. Otros aparatos de alumbrado.
6. Herramientas eléctricas y electrónicas.
7. Juguetes o equipos deportivos y de ocio.
8. Productos sanitarios (con excepción de todos los productos implantados e infectados).
9. Instrumentos de vigilancia y control.

10. Máquinas expendedoras.

10.1. Máquinas expendedoras con gases refrigerantes.

10.2. Resto de máquinas expendedoras.

En el Anexo II de la ley se encuentra una lista detallada de los aparatos que conforman cada una de estas categorías, de manera que puedan ser identificados con claridad en cada uno de los flujos que marca la legislación.

A partir del 15 de agosto el 2018, se clasificarán en seis categorías que se recogen en el Anexo III del mismo, y sustituirán a las anteriores:

1. Aparatos de intercambio de temperatura con excepción de 1.1, 1.2 y 1.3.

1.1. Aparato eléctrico de intercambio de temperatura clorofluorocarburos (CFC), hidroclorofluorocarburos (HCFC), hidrofurocarburos (HFC), hidrocarburos (HC) o amoníaco (NH₃).

1.2. Aparato eléctrico de aire acondicionado.

1.3. Aparato eléctrico con aceite en circuitos o condensadores.

2. Monitores, pantallas, y aparatos con pantallas de superficie superior a los 100 cm².

2.1. Monitores y pantallas LED.

2.2. Otros monitores y pantallas.

3. Lámparas.

3.1. Lámparas de descarga (mercurio) y lámparas fluorescentes.

3.2. Lámparas LED.

4. Grandes aparatos (con una dimensión exterior superior a 50 cm).

Están incluidos, entre otros: Electrodomésticos, aparatos de consumo, equipos de informática y telecomunicaciones, luminarias, aparatos de reproducción de sonido o imagen, equipos de música, herramientas eléctricas y electrónicas, juguetes, equipos deportivos y de ocio, productos sanitarios, instrumentos de vigilancia y control, máquinas expendedoras y equipos para la generación de corriente eléctrica. Esta categoría no incluye los aparatos contemplados en las categorías 1 a 3, ni 7.

5. Pequeños aparatos (sin ninguna dimensión exterior superior a 50 cm).

Están incluidos, entre otros: electrodomésticos, aparatos de consumo, luminarias, aparatos de reproducción de sonido o imagen, equipos de música, herramientas eléctricas y electrónicas, juguetes, equipos deportivos y de ocio, productos sanitarios, instrumentos de vigilancia y control, máquinas expendedoras y equipos para generación de corriente eléctrica. Esta categoría no incluye los aparatos contemplados en las categorías 3 y 6.

6. Equipos de informática y telecomunicaciones pequeños (sin ninguna dimensión exterior superior a los 50 cm).

7. Paneles fotovoltaicos grandes (con una dimensión exterior superior a 50 cm).

7.1. Paneles fotovoltaicos con silicio.

7.2. Paneles fotovoltaicos con telurio de cadmio.

Dentro de la legislación también se recogen también las medidas de diseño y producción de AEE para facilitar su reutilización, desarmado y valorización, así como el tipo de recogida y tratamiento que se ha de llevar a cabo.

3. MATERIAS PRIMAS CRÍTICAS

Se entiende por materias primas críticas o fundamentales, a aquellas que, en caso de escasez de abastecimiento, el impacto que este generaría sobre la economía sería mayor que el de la mayoría. Al llevar a cabo análisis de este tipo sobre materias estratégicas, se les asocia así características relativas de "criticidad" o "importancia crucial", tal como ha realizado la Comisión Europea en dos estudios llevados a cabo por el Raw Materials Supply Group, en los años 2010 y 2014.

Para llegar a clasificarlas y tomar la decisión acerca de su carácter crítico para la economía de la UE, se consideran dos tipos de riesgo:

- i. **Riesgo de abastecimiento**, teniendo en cuenta factores de estabilidad política y económica de los países que producen estas materias, pero también el potencial de posible sustitución de las mismas y los índices de reciclaje actuales.
- ii. **Riesgo medioambiental de país**, analizando los riesgos asociados a las medidas de protección adoptadas por estados con escasas medidas de protección ambiental, que pudieran afectar al abastecimiento que recibe la Unión Europea.

Ambos estudios se basan en metodologías ya existentes de criticidad de una materia prima cualquiera en términos económicos, pero en el caso de sustancias fundamentales de origen mineral que se puedan encontrar en AEE, inciden en la posible sustituibilidad entre distintos materiales, especialmente si se trata de retirar una de estas materias restringidas por otra a la que no le afecten limitaciones. Además, lleva a cabo la distinción entre materias primarias y secundarias, considerando estas como si fueran recursos autóctonos, y emplea indicadores e índices ampliamente reconocidos y de fácil comprensión.

En primer lugar, en el estudio realizado en el año 2010, se analizaron un total de 41 sustancias minerales y metálicas, de manera que, aplicando estos factores de riesgo se llegó a una lista de 14 materias primas minerales críticas para la UE.

Ahora bien, esta lista de materiales se vio ampliada en el año 2014, cuando la comisión llevó a cabo un nuevo estudio de las mismas características sobre 54 materias de estudio iniciales, determinándose finalmente **20 materias primas críticas fundamentales para la UE**.

Incluye trece de las catorce materias identificadas en el trabajo anterior (se excluye el tantalio), realiza la distinción entre tierras raras ligeras y pesadas, e incorpora seis nuevos materiales a la lista, tres de los cuales no habían sido considerados anteriormente. La lista actual, que se ha incorporado oficialmente a las políticas de la Comisión Europea, que se encargará de realizar un control estricto sobre la evolución de las mismas y actualizar este inventario cada tres años, se muestra en la siguiente tabla.

Antimonio	Grafito
Berilio	Indio
Boratos	Magnesita
Carbón de coque	Magnesio
Cromo	Metales del grupo del Platino (1)
Cobalto	Niobio
Fluorita	Silicio
Fosforita	Tierras raras livianas (2)
Galio	Tierras raras pesadas (3)
Germanio	Wolframio

Tabla - Materias primas minerales críticas (EC, 2014)

(1) Los Metales del Grupo del Platino (MGP) son Platino (Pt), Paladio (Pd), Iridio (Ir), Rodio (Rh), Rutenio (Ru) y Osmio (Os).

(2) Forman las tierras raras livianas: el escandio, el lantano, el cerio, el praseodimio, el neodimio, el prometio, el samario, el europio y el gadolinio.

(3) Forman las tierras raras pesadas: el itrio, el terbio, el disprosio, el holmio, el erbio, el tulio, el iterbio y el lutecio.

En la siguiente figura se recogen estas materias fundamentales frente al total de sustancias estudiadas. En el eje de abscisas se evalúa la importancia o riesgo económico, mientras que en ordenadas se identifica el riesgo de abastecimiento.

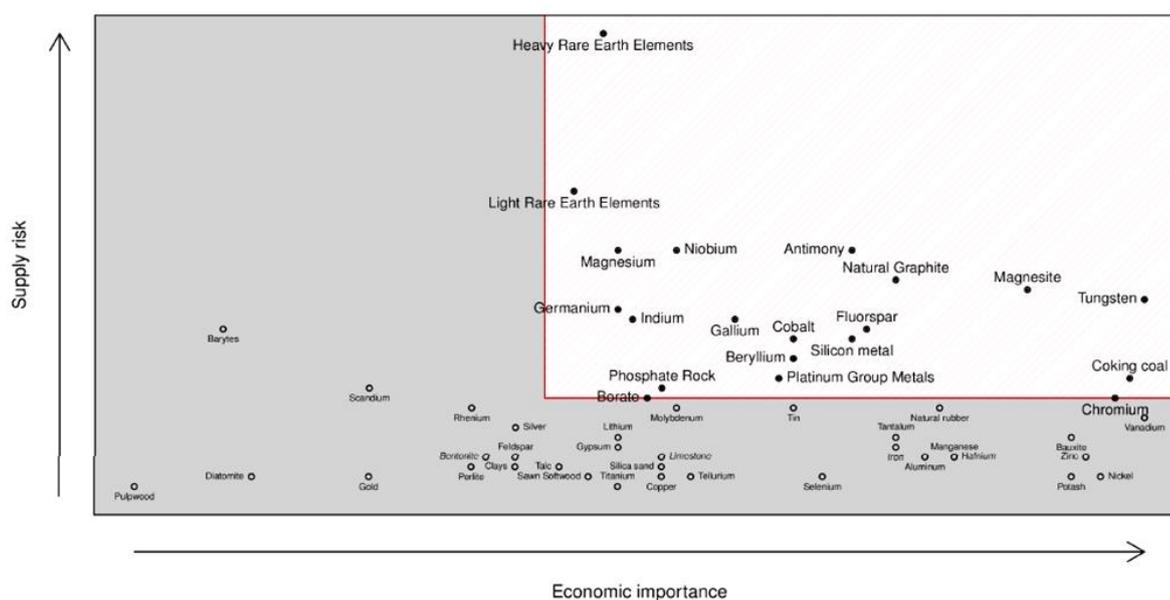


Figura - Materias primas minerales críticas (EC, 2014)

Es necesario tener en cuenta que, a pesar de que este análisis destaca la importancia de estas materias críticas para la economía de la Unión Europea, las limitaciones en la toma de datos y el propio momento de realización del estudio han de estar presentes. Así pues, todos los materiales estudiados son de importancia para la economía europea, aún más teniendo en cuenta que cualquier cambio en los factores de riesgo económico o de abastecimiento pueden causar que una de las sustancias no críticas "salte" en el gráfico anterior y pase a ser fundamental. De nuevo, el análisis constante durante los próximos años se antoja imprescindible para controlar todas estas materias que son imprescindibles para la construcción de los AEE.

Otro aspecto fundamental que convierte a estas materias en delicadas para el futuro de la economía global, es que el reparto en su producción es extremadamente desigual. En términos europeos, un 90% del abastecimiento proviene de fuentes externas, incluyendo la mayoría de los metales.

China es el productor de mayor influencia global con mucha diferencia sobre el resto, concentrando la mayor parte de los materiales que aparecen en la lista, incluyendo casi la totalidad de las tierras raras. Otros países dominan el mercado para materias concretas; por ejemplo, Estados Unidos (berilio) o Brasil (niobio). Para unas pocas sustancias la producción es algo más diversa, como para los metales del grupo del platino o boratos, pero sigue estando notablemente concentrada en términos globales.

En cualquier caso, esta distribución tan extrema acrecienta los riesgos inherentes a estas materias minerales, base de casi la totalidad de materiales que conforman los dispositivos que se analizan en este proyecto.

En la siguiente figura se puede apreciar la distribución de los principales productores mundiales:

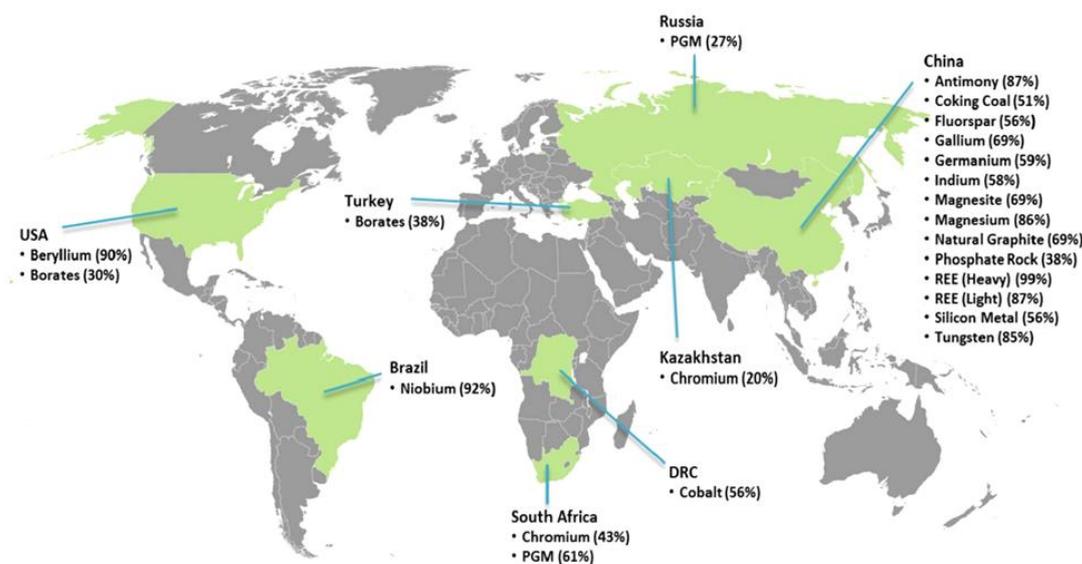


Figura - Productores principales de las materias primas críticas (EC, 2014)

Es una tarea compleja identificar con exactitud el peso relativo de estas materias en la construcción de un dispositivo de la naturaleza aquí considerada, si bien se puede afirmar que un buen número de ellas entra a formar parte del proceso de fabricación de los mismos en algún punto concreto. Si tomamos como ejemplo un teléfono móvil, se puede encontrar cobalto en las baterías, o también paladio, tantalio y otras tierras raras en sus componentes electrónicos. Tanto en móviles como en ordenadores es también habitual la presencia de silicio en sus microchips. Otros materiales de alto valor económico, como oro, plata o mercurio, también son fáciles de encontrar en ellos.

Por otro lado, un estudio reciente de la Universidad de Yale, pone de relieve que muchas de las materias necesarias en la fabricación de dispositivos como los mencionados, no son simplemente raros, sino que muchos de ellos son irremplazables.

En el mismo se analizaron hasta 62 metales y metaloides necesarios para la obtención de un smartphone, tal y como estos se diseñan hoy en día. Posteriormente, se valoró cada uno de ellos según la capacidad de remplazarlos por otros materiales que cumplieran las mismas funciones, asignándoles una escala de valores entre "pobre" y "excelente". Los resultados obtenidos hablan por sí solos: ni uno solo de los elementos metálicos presentes en los móviles actuales tiene un sustituto que pudiera considerarse casi perfecto, y 12 de los metales considerados se clasificaron como "pobres" en cuanto a una posible sustitución.

Los resultados se pueden apreciar gráficamente a continuación. Los colores verdosos indican potencial de sustitución superior, mientras que el color rojo significa, directamente, sustitución muy pobre o inexistente por otros materiales similares.

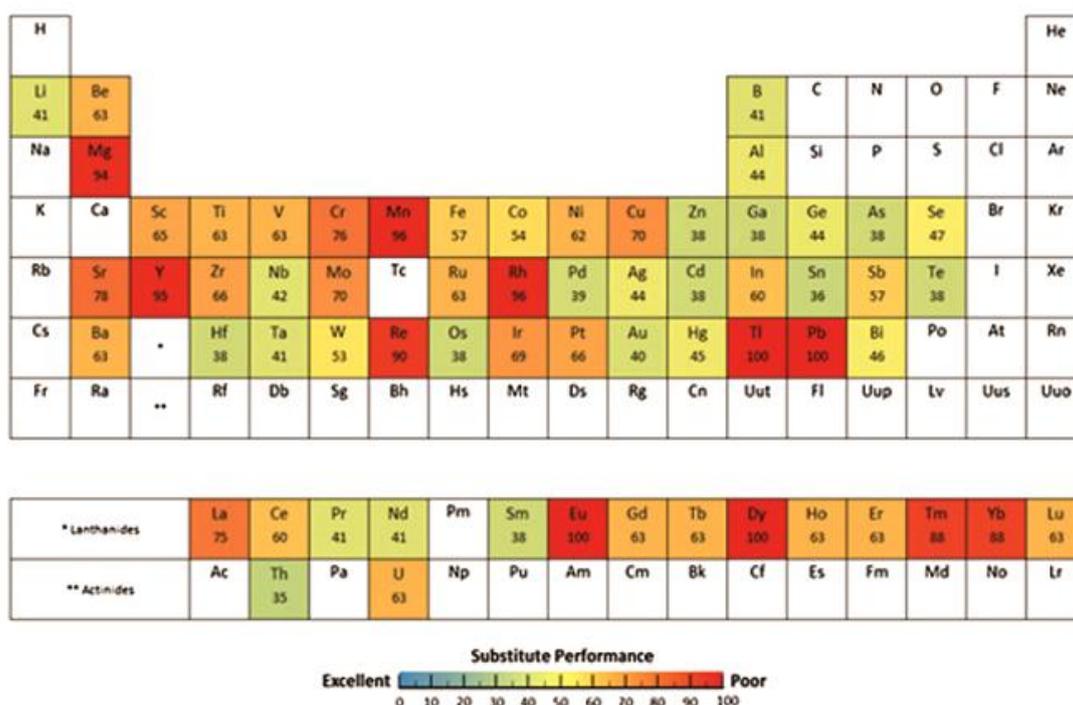


Figura - Potencial de sustitución de metales empleados en móviles (EC, 2014)

4. SELECCIÓN DEL FLUJO DE RAEE OBJETO DEL PROYECTO

Desde las fases iniciales del proyecto, el grupo de trabajo consideró que una selección óptima de un flujo particular de los residuos eléctricos y electrónicos, pasaba por seleccionar un grupo de RAEE de elevada importancia a nivel global, no solo en cifras de consumo y, por tanto, en magnitud de la problemática asociada a los mismos en vertientes económica, ambiental y social; sino que también se tratase de una categoría con potencial notable de recuperación de los materiales que se incluyen en tales dispositivos, con idea de aplicar sobre este flujo los conceptos de la economía circular y desarrollar un indicador que valore la gestión actual de los mismos y posibles alternativas que supongan una mejora en dicha valoración.

Si bien la mayor parte de las categorías de RAEE a considerar podrían mostrar un comportamiento de este tipo, teniendo en cuenta que, en general, se trata de dispositivos muy habituales en la sociedad actual y que, como ya se ha mencionado, sería difícil encontrar un sector de actividad cualquiera que no utilice alguno de estos aparatos.

Sin embargo, por tratarse de productos que se ven afectados de un modo especialmente acentuado por los ciclos de innovación y desarrollo tecnológico, se decidió que los electrodomésticos de gama marrón serían especialmente interesantes para analizar en un proyecto como este. De entre ellos, la electrónica portátil y de pequeño tamaño constituye un grupo de dispositivos cada vez más arraigados en el día a día de cualquier ciudadano del mundo y su abundancia ha crecido exponencialmente en los últimos años.

Respaldando esa noción general que se tiene acerca de estos productos, algunas cifras pueden indicar con precisión la extensión enorme que tienen actualmente:

- i. Aunque por primera vez años, las ventas de teléfonos móviles se han estancado en cifras totales a nivel mundial (con un crecimiento de solo un 0,2% en 2015), la cifra de 335 millones de unidades vendidas en el primer trimestre de 2016, muestra la magnitud en el volumen de ventas que se está considerando. Solo en el año 2015, se vendieron más de 1.430 millones de unidades en el mundo.
- ii. Para el mismo período, se vendieron globalmente unos 276 millones de ordenadores, de los cuales aproximadamente un 60% corresponde a portátiles, que se incluirían en este flujo. En el momento de la redacción de este proyecto, se habían vendido en 2016 más de 111 millones de ordenadores en el mundo.
- iii. Por otro lado, en el último lustro se ha visto el crecimiento meteórico en las ventas de tablets y dispositivos similares, con un pico de ventas de 230 millones en 2014.

Cabe indicar que cada vez aparecen en el mercado un mayor número de dispositivos 'convertibles', a medio camino entre portátil y tableta, de los que se pronostican crecimientos en cuota de mercado de hasta el 75%. De nuevo entrarían en el flujo considerado de electrónica de pequeño tamaño.

También es necesario señalar la tendencia actual del mercado de la electrónica de consumo, que muestra signos de estancamiento en los dos últimos años. Sin embargo, las cifras anteriores muestran que se trata de un grupo de productos extremadamente extendido en todo el planeta y que se ajusta perfectamente a la problemática expuesta anteriormente.

Una vez identificado aproximadamente el grupo de aparatos eléctricos y electrónicos que se van a abordar en el resto de la presente memoria, se buscó aproximar lo máximo posible a una categoría específica de RAEE recogida en la legislación. Si bien en el Anexo I del Real Decreto 110/2015 se hablaba de equipos de informática y telecomunicaciones de modo general, en el Anexo III de la ley, de aplicación a partir del 15 de agosto de 2018, este grupo se limita y se ajusta de manera óptima a los dispositivos que se habían considerado.

De manera precisa, la categoría seleccionada es la siguiente:

Grupo 6 del Anexo III del RD 110/2015, que traspone la Directiva actual en materia de RAEE, 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2012.

Aparatos de informática y de telecomunicaciones pequeños (sin ninguna dimensión exterior superior a los 50 cm).

Teléfonos móviles, GPS, calculadoras de bolsillo, ordenadores personales, impresoras, teléfonos.

Teniendo en cuenta que las cifras de venta y la importancia de los mercados de aparatos GPS, calculadoras e impresoras, es de mucho menor interés que el resto, este proyecto se centrará de manera especial en **telefonía móvil y ordenadores personales de pequeño tamaño, portátiles y tablets**, cuyos materiales de construcción muestran oportunidades interesante de recuperación y reciclaje.

5. ANÁLISIS DE LOS DIFERENTES MODELOS DE GESTIÓN DE RAEE

5.1. Gestión de los RAEE

Como se ha ido viendo en los apartados anteriores, el modelo de consumo actual provoca una desmesurada demanda y producción de AEE, creando graves problemas de sostenibilidad. Parece claro entonces que una correcta utilización de estos productos y su adecuada gestión una vez se convierten en residuos, va a traducirse en mejoras ambientales y permitirá numerosas ventajas como el ahorro energético.

El marco normativo actual introduce la responsabilidad de los productores de estos aparatos eléctricos y electrónicos, estableciendo una recogida y tratamiento obligatorios para alcanzar los siguientes objetivos:

- i. Prevenir la generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y la peligrosidad de los componentes.
- ii. Fomentar la reutilización, y el reciclado y valorización de sus residuos.
- iii. Mejorar el comportamiento ambiental de todos los agentes que intervienen en el ciclo de vida de los RAEE.
- iv. Aproximar la legislación de los Estados miembros en materia de restricciones a la utilización de sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.

En este marco, los productores pueden cumplir con dicha responsabilidad de manera individual o agrupados en sistemas de gestión integrados. Los objetivos del tratamiento de AEE deben enfocarse en reducir la cantidad de residuos y la peligrosidad de sus componentes y regular la gestión para mejorar la protección ambiental, fomentando su reutilización y su valorización. Su correcto tratamiento garantiza recuperar metales, plástico y vidrio para su reciclaje.

En definitiva lo que se busca con un sistema de gestión es llegar a esta situación:



Figura - Jerarquía europea en materia de gestión de residuos (BOE, 2014)

Por lo tanto, una vez estos dispositivos han sido usados, se abren tres vías aplicables a cualquier usuario, ordenadas jerárquicamente de mayor a menor interés ambiental, conocidas como las "tres erres de la ecología" o "3R".

- i. **Reducir**, en lo posible, el uso de estos aparatos y poseer solo los necesarios. La reducción de los residuos pasa en gran parte por cambios importantes en el modelo de vida y de consumo diario, y se antoja un problema de compleja solución que requerirá cambios en la educación y responsabilidad del ciudadano de a pie.
- ii. **Reutilizar** los mismos, alargando su vida útil. Si todavía funcionan, pueden donarse a distintos proyectos, o utilizar las iniciativas ya habituales en internet que permiten su recogida, con la correspondiente remuneración. Si no, debe optarse por la reparación para que vuelvan a estar operativos.
- iii. Por último, **reciclar**, de manera que se realice un correcto desmontaje de los aparatos, gestionando adecuadamente sus componentes (incluidas las sustancias peligrosas) y se puedan recuperar materiales plásticos, metales y vidrio para que sean reciclados y empleados en la fabricación de nuevos productos.

El proceso del reciclaje se realiza como sigue:

1. **Desmontaje y descontaminación.** Las lámparas, baterías, cables y el resto de componentes eléctricos son retirados al comienzo del proceso. Posteriormente, se extraen las sustancias consideradas peligrosas, como el mercurio de los interruptores, los condensadores con policlorobifenilos o tubos de rayos catódicos. Estos materiales se entregan a gestores autorizados, de manera que algunos son incinerados y otros reutilizados, como los aceites o el mercurio.
2. **Trituración.** Una vez se separan los residuos peligrosos, el resto se trituran y se dividen en cuatro apartados: metales férreos, otros no férreos, vidrios y plásticos.
3. **Uso de los materiales reciclables.** Los materiales aptos para el reciclaje se utilizan para conseguir nuevos productos, lo que da lugar a un doble ahorro, energético y de materias primas.
 - Los metales, ya sean de hierro o no, pueden reciclarse prácticamente indefinidamente porque no pierden sus propiedades. Los metales de hierro reciclados se emplearán en la industria siderúrgica. Tras la purificación y fundición de los metales que no son de hierro, tales como cobre, estaño, zinc y los metales preciosos como el oro y la plata, estos se reciclan y sirven para la fabricación de cables y otros componentes eléctricos.
 - El vidrio, una vez limpio y triturado, se reutiliza para las pantallas de televisión y monitores de ordenadores, entre otros usos.
 - Los plásticos recuperados se transforman en pequeñas partículas que se limpian y secan, y que a su vez se transforman en gránulos que adquieren un nuevo color. Se pueden reutilizar en la industria de los muebles y automóviles.

Cabe mencionar que, por ley, cualquier establecimiento de venta de AEE está obligado a aceptar sin coste un aparato antiguo en el momento de compra de uno nuevo, de manera que pasan a encargarse plenamente de su gestión. Incluso, en el RD 110/2015 se impone a los grandes distribuidores, con superficies de venta por encima de 400 m², a que acepten RAEE muy pequeños en cualquier momento y gratuitamente. Si los aparatos están operativos, existe el llamado Plan Renove de electrodomésticos. En cualquier otro caso, los usuarios estarían obligados a deshacerse de estos aparatos en un punto limpio (la fundación Ecolec los localiza en un mapa desde su página web).

Si no fuera posible gestionar el residuo por alguna de las tres vías anteriores, estos deberían pasar a procesos de valorización energética o eliminación directa, aunque estas son opciones mucho menos satisfactorias para el medio ambiente. Uno de los principales problemas asociados con estas vías y que mantiene la pirámide de gestión de residuos en su forma actual, es que estos procesos son, en muchas ocasiones, más baratos y se opta por los mismos sin tener en consideración parámetros ambientales.

En la siguiente tabla se muestran estimaciones de toneladas de RAEE recogidos y reciclados hasta el año 2018, a partir de datos de Eurostat.

Estimación anual	2015		2016		2017		2018	
Categoría de AEE	Recogidos	Reciclad	Recogidos	Reciclad	Recogidos	Reciclad	Recogidos	Reciclad
Grandes electrodom.	111.046	83285	150883	120708	172862	138290	190148	152119
Pequeños electrodom.	7.541	3771	21075	11591	23195	12757	25515	17860
Equipos de telecom y tecnologías de la comunicación	26.216	17040	30411	22808	33447	25085	36791	29433
Equipos consumo	29.330	19065	16532	12399	18928	14196	20821	16657
Equipos iluminación	3.258	1629	11559	6357	13669	7518	15035	10525
Herramientas eléctricas	2.054	2054	1027	3020	6299	3464	6928	4850

Juguetes	3.874	1937	6744	3709	7682	4225	8450	5915
Dispositivos médicos	1.140	570	2646	1455	3105	1707	3415	2390
Instrumentos de control y monitoreo	302	151	1116	614	1163	640	1279	896
Dispensadores automáticos	2.238	1678	3222	2578	3848	3078	4232	3386
TOTAL	187.0	130.1	249.6	185.2	284.1	210.9	312.6	244.0
	00	53	79	38	95	60	15	29

Tabla - Estimaciones de RAEE recogidos y reciclados (Elaboración propia)

5.2. Modelos de Gestión

La situación que atraviesa la recogida y tratamiento de RAEE en España es muy delicada, ya que en términos generales no se llega a los mínimos establecidos por la UE.

Antes de conocer los distintos organismos y mecanismos encargados de la gestión de estos residuos, se hace imprescindible analizar la situación actual. La aplicación de una legislación muy reciente y con diferentes grados de implantación y resultados todavía parciales, unido a la gran complejidad de este grupo de residuos heterogéneo, dificulta en gran medida la obtención de datos completos, recientes y fiables, tanto en lo que respecta a la producción, como a su recogida y tratamiento.

En línea con la normativa anterior, el Real Decreto 110/2015 establece una serie de normas aplicables a la fabricación de un producto y otras relativas a su correcta gestión ambiental cuando se conviertan en residuo. Obliga a los productores de estos aparatos a adoptar las medidas necesarias para que sus residuos dispongan de sistemas de recogida selectiva y tengan una correcta gestión medioambiental. También cuenta con responsabilidades por parte de los distribuidores, las administraciones públicas y los ciudadanos, por lo que la responsabilidad sobre el adecuado reciclaje de estos residuos recae sobre cada ciudadano.

Estas obligaciones son, básicamente, relativas a la prevención y puesta en el mercado, a la recogida de RAEE a través de sus propias redes cuando proceda, cumpliendo determinados objetivos mínimos de recogida. Del mismo modo se financiará a quien le corresponda la recogida y gestión de los residuos, y las campañas de concienciación.

Como ya se ha visto, la gama de AEE es tan heterogénea que su gestión como residuo no permite un tratamiento uniforme. Se engloban aquí aparatos con diferentes dimensiones y materiales, que se comercializan por canales heterogéneos (tiendas tradicionales, internet, mercadillos, gran distribución, puerta a puerta, etc.), cada uno con vida media distinta y con sustancias que pueden ser o no peligrosas.

Es por ello que, hasta el momento, la recogida de los equipos procedentes de hogares puede diferenciarse en función de su tamaño. Los grandes electrodomésticos se gestionan a través de los distribuidores que retiran el equipo usado tras la entrega del nuevo, o bien las entidades locales los recogen de las calles o a través de ecoparques. Los pequeños dispositivos son recogidos en estos ecoparques. Sin embargo, los residuos eléctricos y electrónicos generados por usuarios profesionales, tienen una recogida y gestión similar a la de la mayoría de los residuos.

Por lo tanto, la recogida y almacenamiento de RAEE se hace principalmente utilizando las tres vías que se especifican a continuación:

- Puntos limpios y otros puntos municipales, donde los usuarios pueden entregar los RAEE que quieren desechar.
- Almacenes propios de las empresas de distribución.
- Centros de Agrupación de Carga (CAC), que reciben los RAEE de los puntos limpios y de los distribuidores.

Tanto desde los puntos limpios, almacenes, como los CAC, los residuos son transportados por el operador logístico hasta las empresas que se encargan del reciclaje. Los flujos de residuos se puede comprobar gráficamente en la siguiente figura.

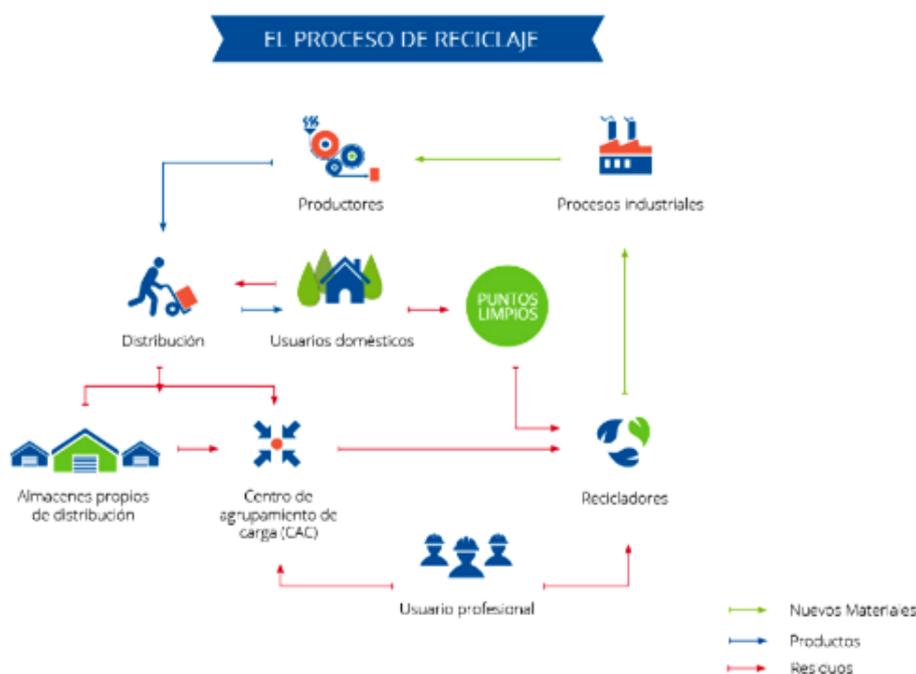


Figura - Flujos en la gestión de RAEE (ECOTIC, 2016)

El objetivo último del proceso de gestión de RAEE debe ser el convertirlos en nuevos recursos, recuperando los materiales para que vuelvan a ser utilizados en una nueva cadena de valor. Así pues, debe garantizar la reutilización de los materiales y minimizar el impacto de los residuos en el medio ambiente, además de prevenir el respectivo agotamiento de los recursos naturales del planeta.

La obtención de estos materiales va a depender, claro está, de la capacidad de dar respuesta a las necesidades específicas de tratamiento de los distintos tipos de RAEE y al grado de desarrollo tecnológico de estos. Existen cuatro grandes métodos utilizados para el reciclaje de estos residuos:

- i. Desmontaje y separación manual de los componentes del AEE.
- ii. Reciclaje mecánico, mediante y la extracción y triturado de materiales.
- iii. Fundición para la recuperación de metales.
- iv. Reciclaje químico, aplicable a ciertos metales.

Una vez se ha mostrado la situación actual a nivel estatal, se explican a continuación las distintas vías de gestión que están disponibles para RAEE.

Donación a distintos proyectos

Aunque es cierto que las cifras de reciclaje para materiales como el papel, el vidrio o el plástico, aumentan progresivamente, existen productos de uso cotidiano, como los aparatos eléctricos o electrónicos, que también pueden ser objeto de estas prácticas y pueden servir para realizar una obra solidaria.

Los fabricantes de teléfonos móviles y material informático llevan años trabajando en sistemas de recogida y reciclaje cada vez más eficaces y menos costosos, es por ello, que la Unión Europea subvenciona proyectos como Tragamovil, Ecopilas y Ecofimática para el reciclaje de diversos aparatos electrónicos. Sin embargo, aún hay una distancia muy grande entre la venta de los AEE y su reciclado.

Teniendo en cuenta que, en los países desarrollados, la vida media de estos aparatos es muy baja (unos 5 años para los ordenadores y rondando los 18 meses para teléfonos móviles), se han desarrollado numerosos proyectos solidarios. Distintas ONG como Ingenieros Sin Fronteras o Telecomunicaciones Solidarias, para los ordenadores, o Cruz Roja y la Fundación Entreculturas en el caso de los móviles, han desarrollado iniciativas que ofrecen que este tipo de aparatos lleguen a personas necesitadas y en países con menor nivel de vida, mientras que se protege el medio ambiente evitando la eliminación directa de los RAEE.

Algunos de las vías que se encuentran activas en nuestro país son:

- **Reciclaje a distancia:** el usuario, sin moverse de casa, puede reciclar los viejos aparatos y obtener dinero a cambio, siendo entonces una práctica rentable, ecológica y solidaria.

Por ejemplo, la idea de *Clickrecicla* surge para aprovechar esos productos y que no contaminen el medio ambiente, ofreciendo un servicio gratuito de reciclaje a domicilio que, además, puede proporcionar a sus usuarios un dinero extra si el aparato se reutiliza.

El interesado solicita una llamada “green box” para introducir los productos deseados, comprometiéndose a que, al menos uno de los productos, pueda reutilizarse. Este producto se publica en un portal de subastas y, si se vende, el 50% del importe va directo al usuario. Los RAEE que no puedan utilizarse se envían a otras empresas especializadas en reciclaje de estos productos.

- **Plan renove de electrodomésticos:** basados en distintas medidas, constituyen estrategias de ahorro y eficiencia energética en España. Dentro del equipamiento doméstico, esta línea de ayudas subvenciona electrodomésticos y equipos, para cambiarlos por otros aparatos y promover la protección ambiental.

5.3. Sistemas Integrados de gestión

Actualmente están operativos 12 sistemas integrados de gestión, que gestionan diferentes tipos de RAEE, según las 10 categorías establecidas en la Directiva 2012/19/UE:

- **AMBILAMP:** 5 categorías, aparatos de alumbrado.
- **ECOASIMELEC:** categorías 1,2,3,5,6,7,8,9 y 10; da cobertura a todas las categorías que no se integran en la fundaciones de RECYCLIA, en este caso TRAGAMÓVIL.
- **ECOFIMÁTICA:** 3 categorías, sólo fax e impresoras.
- **ECOLEC:** da cobertura a las diez categorías.
- **ECOLUM:** de nuevo para dispositivos de alumbrado.
- **ECO-RAEE's:** cobertura de los 10 grupos.
- **ECOTIC:** todas las categorías.
- **ERP:** cubre todas las categorías, salvo la cuarta.

- TRAGAMÓVIL: cubre 3 categorías, para equipos de informática y telecomunicaciones.
- REINICIA: de manera similar, para equipos de informática e impresoras.
- Fundación Canaria para el reciclaje y el desarrollo: cubre el espectro completo de RAEE.
- SUNREUSE: gestiona las diez categorías.

De estos doce sistemas, nos centraremos en aquellos que se encargan de gestionar los residuos del flujo seleccionado (electrónica de pequeño tamaño) y se hará una breve descripción de los mismos.

- La fundación **ECOLEC** es una entidad sin ánimo de lucro creada por las asociaciones empresariales que representan al sector de fabricantes e importadores de grandes y pequeños electrodomésticos. Su objetivo es la gestión de sus residuos desde el punto de vista medioambiental, social y económica, cumpliendo con la normativa legal.

Con ello se pretende contribuir al mantenimiento y mejora de los recursos naturales y energéticos a través de la recogida, tratamiento, valorización y eliminación de los RAEE, pilas y acumuladores. También participar en la labor activa de concienciación medioambiental a los ciudadanos y promover la cultura del desarrollo sostenible.

El ámbito de actuación de esta fundación es principalmente estatal. Está integrada en la WEEE- Forum, la red Europea de sistemas de gestión colectiva de RAEE.

WEEE-Forum es una asociación europea de 30 sistemas de recogida y recuperación de residuos eléctricos y electrónicos. Su misión es proporcionar una plataforma para la cooperación y el intercambio de mejores prácticas y, al hacerlo así, optimizar la eficacia de las operaciones de las organizaciones miembro, mientras busca la excelencia y la mejora continua en el desempeño ambiental. También pretende ser un centro de competencia que permita a los miembros hacer aportaciones constructivas al debate general políticas de residuos electrónicos.

- **ECO-RAEE'S** es una fundación ambiental, fundada con el apoyo y compromiso de los productores de AEE, buscando el cumplimiento constante de la legislación.

Desde su creación en 2005, representa ante el Ministerio de Industria a más de 400 empresas de todo el territorio, a las que da cobertura y asesora en materia de recogida, traslado, almacenamiento y tratamiento de los residuos de estos aparatos

En materia de gestión, permite la coordinación de estas empresas envueltas en la recogida mediante una plataforma web.

- **ECOTIC** es una organización que da respuesta a los requisitos legales que los productores y distribuidores a AEE deben cumplir. Su gestión no sólo garantiza un reciclaje adecuado, sino que se realice de una manera eficaz y económicamente razonable, optimizando los recursos destinados a la financiación, y logrando que el sistema sea sostenible y garantizando su perdurabilidad en el tiempo.

- **European Recycling Platform (ERP España)** es el único Sistema Integrado de gestión autorizado para la gestión de RAEE con proyección global.

ERP constituye una red mundial de expertos en responsabilidad ampliada del productor, y es la única entidad del mundo que ofrece servicios de cumplimiento a fabricantes e importadores en 32 países. En España, más de 150 empresas utilizan este sistema para la gestión de sus responsabilidades como productor de residuos.

- **TRAGAMÓVIL**, gestionado por RECYCLIA, se encarga del reciclaje de los residuos de aparatos de telefonía móvil y comunicaciones, ofreciendo la cobertura necesaria para cumplir con la normativa, independientemente de su sector de actividad. Es por ello que se han convertido en un referente europeo en el reciclaje de RAEE y teléfonos móviles.

Desde el año 2014, se ha consolidado la fusión entre Tragamóvil y Ecosimelec, de manera que ambas fundaciones se unen en un proyecto común, que persigue la consolidación de ambas y la búsqueda de sinergias con otros SIG.

Fundación Canaria para el reciclaje y el desarrollo: esta fundación es amplia defensora del medio ambiente, el desarrollo sostenible y el fomento del reciclaje de residuos a través de la sensibilización y la formación en las islas.

SUNREUSE es un sistema integrado de gestión con el compromiso y apoyo de productores de placas solares, aparatos eléctricos y electrónicos, cuya finalidad es reciclar y gestionarlos. Su objetivo es dar cobertura a las necesidades actuales del sector y de los productores asociados.

5.4. Futuro en la gestión de RAEE

Sobre el futuro de la gestión de los RAEE se barajan diversas hipótesis, pero la mayoría ligadas a modelos circulares de estos residuos, que permitan cerrar el ciclo de vida del producto evitando su eliminación. Si bien el desarrollo de estos modelos es necesario, una gestión sostenible va a pasar por cambiar conductas de consumo y de uso de estos aparatos tecnológicos con la mayor brevedad posible.

Algunas de las medidas que se podrían llevar a cabo para cumplir los estrictos objetivos que marca la legislación y para la mejora en la gestión de los RAEE:

- i. Disponer de elementos y herramientas de trazabilidad para estos residuos, como garantía para su adecuado control y obtención de estadísticas.
- ii. Que la ciudadanía disponga de una red extensa de puntos de recogida, para canalizar adecuadamente los RAEE.
- iii. El estricto cumplimiento de la legislación por parte de los productores en materia de reciclaje, para que se convierta en un aspecto inherente al desarrollo de nuevos productos (ecodiseño).
- iv. Promover el cambio paulatino de la idea de “residuo” por la de “recurso”, con la concienciación adecuada en cuanto a la importancia del un valor añadido de los productos antes y después de su desecho.
- v. Una responsabilidad compartida involucrando a todos los agentes en la cadena de valor y asegurando una distribución justa de los costes. Para llegar a un modelo de economía circular es necesaria la introducción de cambios en toda la cadena de suministro.
- vi. Desarrollar el concepto de Smart Cities.

En definitiva, se trata de llegar a un modelo completo de Economía Circular, que deje a un lado el concepto tradicional de residuo. Los conceptos básicos de este modelo económico se explicarán con detalle en el próximo apartado, con el objetivo de relacionarlos con el estudio de los RAEE y aplicar sobre el flujo de residuos seleccionado, las ideas que derivan del mismo.

6. ECONOMÍA CIRCULAR

6.1. Definición

La economía circular es un concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad, y cuyo objetivo es que el valor de los productos, los materiales y los recursos (agua, energía,...) se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible, con el fin de reducir al máximo la generación de residuos. Se trata de implementar una nueva economía, circular -no lineal-, basada en el principio de “cerrar el ciclo de vida” de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía.

Los últimos 150 años de evolución industrial han estado sujetos a un sistema de producción y consumo lineal. El sistema de consumo (extracción de materias primas, fabricación, utilización y eliminación como residuos) ha alcanzado sus límites. Se empieza a vislumbrar, en efecto, la escasez y sobreexplotación de una serie de recursos naturales y de combustibles fósiles. Por lo tanto, es necesario buscar un nuevo modelo económico. La economía circular propone un nuevo modelo de sociedad que utiliza y optimiza los *stocks* y los flujos de materiales, energía y residuos y su objetivo es la eficiencia del uso de los recursos.

Por otro lado, muchas empresas han comenzado a darse cuenta de que el sistema lineal aumenta su exposición a los riesgos, sobre todo debido a las interrupciones en la cadena de suministro y el aumento del precio de los recursos. Es en este contexto de escasez y fluctuación de los costes de las materias primas, cuando la economía circular contribuye a la seguridad del suministro y a la reindustrialización del territorio nacional.

El objetivo principal de este tipo de economía es que los residuos de unos se convierten en recursos para otros. El producto debe ser diseñado para ser deconstruido. La economía circular consigue convertir nuestros residuos en materias primas, paradigma de un sistema de futuro.

6.2. Principios

Una economía circular es un sistema económico restaurador o regenerativo por intención y por diseño, en el cual se sustituye el sistema de caducidad de un producto por el de restauración.

Esta nueva economía proporciona múltiples mecanismos de creación de valor no vinculados al consumo de recursos finitos. En una verdadera economía circular, el consumo sólo se produce en ciclos biológicos eficaces; por lo demás, el uso sustituye al consumo. Los recursos se regeneran dentro del ciclo biológico o se recuperan y restauran gracias al ciclo técnico. Dentro del ciclo biológico, distintos procesos permiten regenerar los materiales descartados, pese a la intervención humana o sin que esta sea necesaria.

En el ciclo técnico, con la suficiente energía disponible, la intervención humana recupera los distintos recursos y recrea el orden, dentro de la escala temporal que se plantee. Mantener o aumentar el capital supone características diferentes en ambos ciclos.

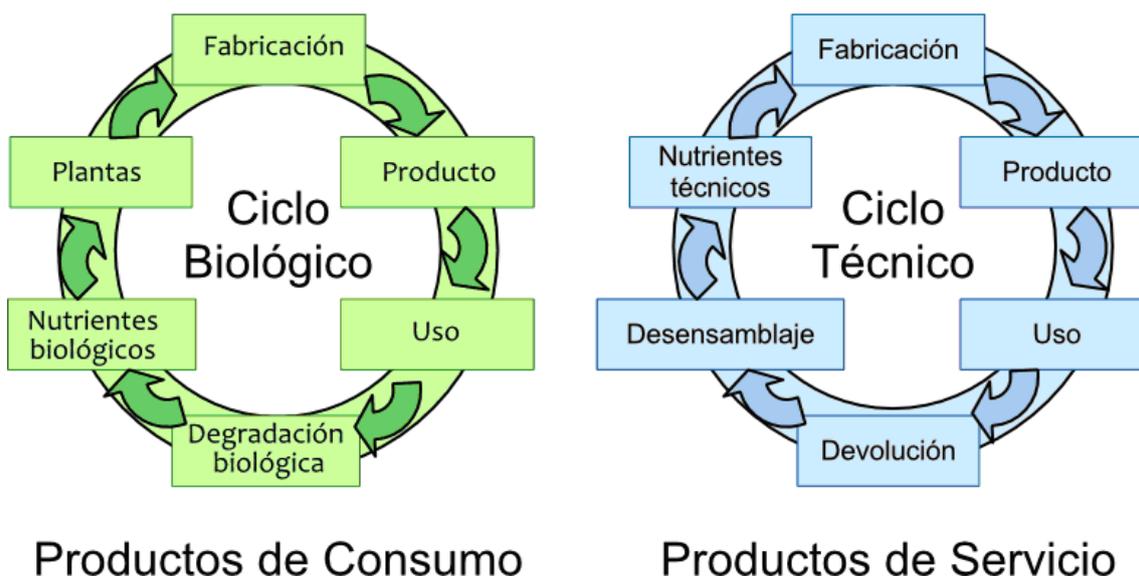


Figura - Ciclos de la Economía Circular (Osman, 2016)

El ciclo biológico se basa en el metabolismo natural, está compuesto por nutrientes compostables (es decir reintegrables en naturaleza de manera seguro y positiva para el entorno) una y otra vez teniendo en consideración el tiempo necesario para su renovabilidad. El ciclo técnico engloba los compuestos y materiales elaborados industrialmente (metales, plásticos, ..) diseñados para ser superciclados (reciclados sin perder calidad), de manera que puedan ser reutilizados infinitamente en una metabolismo industrial, aislado del mundo natural.

La economía circular se basa principalmente en tres principios clave. Cada uno de los principios contempla varios de los retos en términos de recursos y del sistema a los que han de hacer frente las actuales economías industriales.

Principio 1: Preservar y mejorar el capital natural controlando existencias finitas y equilibrando los flujos de recursos renovables.

El objetivo principal de este principio consiste fundamentalmente en desmaterializar la utilidad en la medida de lo posible, proporcionando dicha utilidad de forma virtual. Así, los futuros consumidores accederían a los productos como usuarios, en lugar de adueñarse de ellos como propietarios.

En el caso de que se necesiten recursos, se promoverá una adecuada selección de los mismos, eligiendo preferentemente tecnologías y procesos que empleen recursos renovables y que tengan mejores rendimientos.

Además, la economía circular mejora el capital natural, al potenciar el flujo de nutrientes del sistema, creando condiciones que, por ejemplo, permiten la regeneración del suelo.

Principio 2: Optimizar el uso de los recursos rotando productos, componentes y materiales con la máxima utilidad en todo momento, tanto en los ciclos técnicos como en los biológicos.

Este principio contempla diseñar los productos de forma que pueda repetirse el proceso de fabricación, restauración y reciclaje recirculando los materiales empleados para que sigan resultando valiosos dentro del sistema económico.

Se promueve el empleo de ciclos internos más cerrados para la creación de valor, de forma que se reduce la velocidad de rotación de los productos al incrementar su vida útil y fomentar su reutilización.

Principio 3: Fomentar la eficacia del sistema revelando y eliminando externalidades negativas.

Este principio promueve reducir los daños atribuidos al uso humano, tales como los relacionados con los alimentos, la movilidad, la vivienda, la educación, la salud y el ocio, y gestionar externalidades tales como el uso del terreno, la contaminación atmosférica, de las aguas y acústica, la emisión de sustancias tóxicas y el cambio climático.

6.3. Características

Existe una serie de rasgos configuradores que definen el funcionamiento de la economía circular frente el modelo clásico lineal:

- i. La eco-concepción: considerar desde la fabricación del producto los futuros impactos medioambientales con el fin de minimizarlos.
- ii. El residuo se convierte en recurso: es la característica más importante de este tipo de economía, de forma que todo material biodegradable se incorpore nuevamente a la naturaleza y el que no es biodegradable se reutilice integrándolo en los procesos productivos utilizando así el menor porcentaje materia prima para la elaboración de nuevos productos, bien sea de forma íntegra o de ciertas partes de los mismos.
- iii. Economía de la funcionalidad: la economía circular propone eliminar la venta de productos en la medida que sea posible para implantar un sistema de alquiler de bienes en el que los consumidores sean usuarios de dichos productos. Cuando el producto termina su función principal para la que fue diseñado, vuelve a la empresa, que mediante unos tratamientos permitan reutilizar sus piezas válidas.
- iv. La reparación: encontrar una segunda vida a los productos estropeados.

- v. Energía de fuentes renovables: eliminación de los combustibles fósiles y utilización de energías renovables en la medida de lo posible tanto en la fabricación del producto como en la reutilización y reciclaje del mismo.
- vi. La ecología industrial y territorial: establecimiento de un modo de organización industrial en un mismo territorio caracterizado por una gestión optimizada de los stocks y de los flujos de materiales, energía y servicios.
- vii. El segundo uso: reintroducir en el circuito económico aquellos productos que ya no corresponden a las necesidades iniciales de los consumidores para los cuales fueron diseñados, pero que pueden tener valor en el mercado mediante una serie de cambios con el fin de reducir al máximo la generación de residuos.

Seguidamente se desarrollan con más detalle las características principales que definirían una economía estrictamente circular:

Diseñar sin residuos

Desaparece el concepto de basura, desperdicios o residuos. Los productos son diseñados para el desmontaje y la readaptación una vez que dejan de ser útiles, de forma que sus componentes vuelven a formar parte de los ciclos naturales o industriales, reduciendo así el consumo de materias primas y energía. Los nutrientes biológicos estarían compuestos de materiales totalmente biodegradables que podrían regresar a la naturaleza sin problemas y ser integrados en los procesos naturales. Los nutrientes técnicos, principalmente polímeros, aleaciones y otros materiales artificiales, pueden ser reutilizados de manera sencilla y poco costosa en términos energéticos.

Aumentar la resiliencia por medio de la diversidad

Los sistemas naturales más resistentes (capacidad de un sistema para soportar una perturbación, manteniendo su estructura y funcionamiento en su estado original) y resilientes (capacidad de un sistema para regresar al equilibrio tras sufrir una perturbación) son los ecosistemas que están compuestos por una mayor diversidad de organismos y de interacciones entre los mismos.

En el mundo económico se puede aplicar una filosofía parecida, para mejorar la respuesta a las crisis económicas y productivas. Por ejemplo, una empresa que tenga una mayor diversidad de proveedores podría resistir mejor la quiebra de uno de ellos.

Los sistemas diversos con muchas conexiones y escalas son más resilientes a los impactos externos que los sistemas construidos simplemente para maximizar la eficiencia y el rendimiento con resultados de fragilidad extremos.

Trabajar hacia un uso de energía de fuentes renovables

Una economía circular debe serlo también en relación a la energía empleada en el proceso. Así, se apuesta por la substitución completa de los combustibles fósiles y nucleares por energías renovables, lo cual se justificaría debido al poco consumo energético que requiere una economía circular restaurativa.

Pensar en sistemas

La capacidad de comprender cómo influyen entre sí las partes dentro de un todo y la relación del todo con las partes, resulta fundamental. Independientemente de la escala, los elementos de un sistema están altamente interrelacionados mostrando, en muchas ocasiones, relaciones no lineales entre ellos. Así cuando diseñamos un sistema debemos entender las interrelaciones dentro de los elementos que lo componen además de los elementos externos.

Pensar en cascadas

Para los materiales biológicos, la esencia de la creación de valor consiste en la oportunidad de extraer valor adicional de productos y materiales mediante su paso en cascada por otras aplicaciones. En la descomposición biológica, ya sea natural o en procesos de fermentación controlados, el material se descompone en fases por microorganismos, como bacterias y hongos, que extraen la energía y los nutrientes de los hidratos de carbono, grasas y proteínas que se encuentran en el material. Por ejemplo, pasar del árbol al horno priva del valor que podría obtenerse mediante una descomposición en fases, mediante usos sucesivos como madera y productos de madera antes de su deterioro y eventual incineración.

Nuevo modelo de propiedad

La economía circular apuesta por un nuevo modelo en el que la tecnología podría ser alquilada por la empresa productora al usuario. El productor iría mejorando cada cierto tiempo el producto usando los componentes de los aparatos que van quedando obsoletos.

Coste real del producto

Los precios deben reflejar el coste real global del producto para favorecer un consumo racional.

6.4. Escuelas de Pensamiento

De la cuna a la cuna

El concepto cradle to cradle (de la cuna a la cuna) representa un desarrollo productivo basado en los principios de la economía circular. Desarrollado por William McDonough y Michael Braungart, plantea un nuevo paradigma de diseño inteligente basado en cerrar el ciclo de vida de los productos, tal y como ocurre en la naturaleza.

El concepto “cradle to cradle” se basa en tres principios fundamentales:

- i. Residuo=Recurso. El objetivo principal de este principio se basa en fabricar productos de manera que cuando acabe su vida útil, el 100% de los elementos que componen dicho producto se conviertan en recursos. De esta manera se elimina el concepto de desecho, pues residuo=recurso. Se pretende que los materiales se reciclen en el mismo uso, o bien se reciclen “hacia arriba”, es decir que el siguiente uso tenga más valor que el actual.
- ii. Energías renovables. Utilizar energías que lleguen a la Tierra de forma natural (solar, eólica, hidráulica...) en lugar de la energía almacenada en materiales procesados en el interior del planeta durante milenios (combustibles fósiles), siempre que cumplan el principio anterior. Un sistema que dependa principalmente de fuentes de energía renovables.
- iii. Diversidad. Todo debe contribuir a la diversidad (biodiversidad, diversidad conceptual y diversidad cultural). Los sistemas naturales funcionan y prosperan a través de la complejidad. En comparación con las soluciones estándar de la revolución industrial y la uniformidad tan altamente apreciada por la globalización, la naturaleza sostiene una gran cantidad casi interminable de variedad y diversidad. Cada ser vivo ha desarrollado una respuesta única a su entorno inmediato que garantiza su bienestar y contribuye al equilibrio del sistema en concierto con el resto de seres vivos con los que interacciona. En lugar de ofrecer las soluciones genéricas de la ingeniería tradicional, los diseños que celebran y apoyan la diversidad y la localidad cumplen mejor su función original, al tener en cuenta las interacciones con los sistemas naturales en los que se enmarcan.

Economía del Rendimiento

Walter Stahel, arquitecto y analista industrial, e inventor de la expresión “Cradle to Cradle” (de la cuna a la cuna) esbozó en su informe de investigación para la Comisión Europea *The Potential for Substituting Manpower for Energy*, escrito junto con Genevieve Reday, la visión de una economía en bucles (o economía circular) y su impacto en la creación de empleo, competitividad económica, ahorro de recursos y prevención de residuos.

A finales de la década de los setenta, Stahel trabajó en el desarrollo de un enfoque de «bucle cerrado» para los procesos de producción y fundó el Product Life Institute.

El Instituto de la Vida del Producto (Product-Life Institute) es considerado como uno de los principales foros dedicados a la sostenibilidad. Persigue cuatro objetivos principales:

- La extensión de la vida del producto
- Los bienes de larga duración
- Las actividades de reacondicionamiento
- La prevención de residuos.

Además, se persigue la venta de servicios en lugar de productos, una idea conocida como la economía de servicios funcional y en la actualidad incluida de forma más general en el concepto de «economía del rendimiento».

La economía circular debe considerarse como un marco, y sus partidarios lo ven como un modelo coherente que forma parte de la respuesta al final de la era del petróleo barato.

Biomímesis

El biomimetismo (biomimicry, en inglés) es una nueva disciplina que trata de buscar soluciones tecnológicas inspiradas en los diseños de la naturaleza. En otras palabras, adaptar las soluciones que proporciona la naturaleza a retos y problemas que tengamos en un proceso productivo, tecnológico, organización, etc.

Ecología Industrial

El modelo tradicional de la actividad industrial en el que los procesos de producción generan productos para la venta y residuos para su eliminación debe transformarse en un modelo más integrado: un ecosistema industrial. Este sistema optimiza el consumo de energía y materias primas para utilizar el residuo de un proceso para alimentar a otros procesos. Este enfoque tiene como objetivo crear procesos de circuito cerrado en el que los residuos sirven de entrada para otro proceso, eliminando la noción de un subproducto no aprovechable. Busca aumentar la eficiencia y reducir el impacto de los ciclos de materia y energía, limitando el consumo de recursos (en particular las no renovables) y fortaleciendo la competitividad económica de los sistemas de producción.

Además, adopta un punto de vista sistémico, diseñando los procesos de producción atendiendo a las restricciones ecológicas, mientras mira su impacto global desde el principio, y trata de darles forma para que se puedan realizar lo más cerca posible de los sistemas vivos. A este marco de trabajo se le denomina a veces «ciencia de la sostenibilidad», por su carácter interdisciplinario y porque sus principios pueden aplicarse también en el sector de los servicios. Con un énfasis en la restauración del capital natural, la ecología industrial también se centra en el bienestar social.

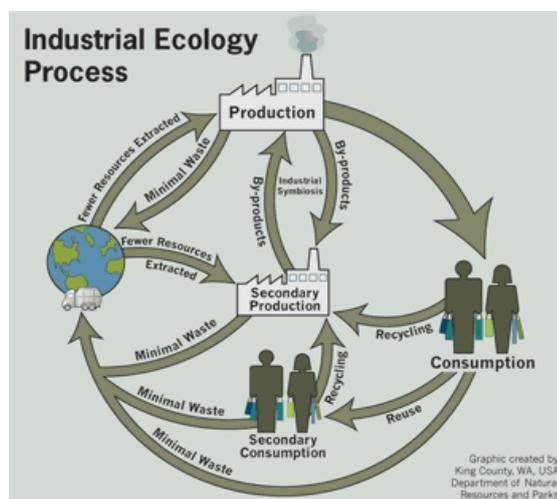


Figura - Procesos de la Ecología Industrial (Projourn, 2016)

Capitalismo Natural

El modelo del Capitalismo Natural (Natural Capitalism), propuesto por el ecologista P. Hawken, el físico A. Lovins y la socióloga H.Lovins, es una crítica al capitalismo industrial tradicional, reconoció principalmente el valor del dinero y los bienes de capital mientras que el Capitalismo Natural reconoció al capital natural y al capital humano; es decir se planteó el paso de la economía de consumo a la de los servicios y reinvertió los beneficios obtenidos en garantizar la conservación de los recursos naturales, lo cual constituyó una guía y un marco de actuación para que los futuros negocios saquen provecho de la responsabilidad ambiental y social.

La transición a este enfoque implica 4 cambios básicos en las prácticas de negocio:

- i. Aumentar la productividad natural de los recursos a través de cambios tanto en el diseño como en la tecnología para aprovechar los recursos naturales. Este ahorro de recursos proporciona mayores ganancias, se amortiza con el tiempo, e incluso en muchos casos reduce la inversión del capital inicial necesario.
- ii. Cambio a un modelo de producción inspirado biológicamente, se busca no sólo disminuir los residuos, sino también eliminar del mismo el concepto de desecho. En los sistemas de producción de ciclo cerrado, cada output se devuelve al ecosistema como nutriente o bien se convierte en un input para fabricar otro producto.
- iii. Avance hacia un modelo de negocio basado en soluciones; el modelo de fabricación tradicional reside en la venta de bienes. En cambio, el nuevo modelo se sustenta en el flujo de servicios, lo que conlleva una nueva percepción del valor de los bienes como la continua satisfacción de calidad, utilidad y funcionalidad.
- iv. Reinvertir en capital natural; el negocio supone, sostiene, y expande los ecosistemas, para producir servicios y recursos biológicos más abundantemente.

Economía Azul

Impulsado por el economista belga Gunter Pauli a partir del año 2012, cuyo paradigma se inspira en la tierra. El término economía azul tiene puntos en común entre los modelos de la cuna a la cuna y la biomímesis. El modelo rechaza la actitud elitista de la economía verde que ofrece productos ecológicos que respetan el medioambiente pero sólo son accesibles a una élite con alto poder adquisitivo y poco sostenible. Los emprendedores y consumidores tienen acceso a la economía azul de forma sostenible, siendo competitivos, sostenibles e innovadores. El enfoque insiste en soluciones determinadas por su entorno local y características físicas y ecológicas.

Permacultura

A finales de los 70, se acuñó este concepto que se define como el diseño consciente y mantenimiento de ecosistemas agrícolas productivos, que tienen la diversidad, estabilidad y resistencia de los ecosistemas naturales. Ha adquirido notoriedad gracias a Masanobu Fukuoka en Japón y a Sepp Holzer en Austria. La Permacultura toma elementos tanto de la agricultura tradicional sostenible como de las innovaciones modernas. Los sistemas de Permacultura mejoran el rendimiento y reducen el consumo elementos externos, mejoran la calidad del suelo y protegen la biodiversidad. La Permacultura integra elementos de los sistemas agroforestales (bosque agricultura, cultivos en franjas, protección contra el viento), de la agricultura de conservación (árboles fertilizantes, ausencia de y de compactación de suelos, cubiertas permanentes del suelo), de la agricultura orgánica (insumos orgánicos y reciclaje de nutrientes), y de la agricultura tradicional (infiltración del agua de lluvia).

Diseño Regenerativo

En 1970, un profesor estadounidense llamado John T. Lyle retó a sus estudiantes a que propusieran ideas para conseguir una sociedad en la que las actividades diarias estén dentro de los límites de los recursos renovables disponibles sin degradar el medio ambiente.

John T. Lyle comenzó a desarrollar ideas sobre diseño regenerativo que podían aplicarse a todos los sistemas, es decir, más allá de la agricultura, para la cual se había formulado anteriormente el concepto de regeneración.

El término Diseño Regenerativo llegó a ser asociado con esta idea: que todos los sistemas, a partir de la agricultura, podría ser organizado de forma regenerativa. En otras palabras, que los procesos por si mismos se renueven o regeneren las fuentes de energía y de materiales que consumen.

Con todas estas fuentes podemos ver que nuestra economía evoluciona desde un modelo hacer-usar-tirar cada vez más difícil de implementar por el agotamiento de los recursos, hacia uno circular y regenerativo que además supone una gran oportunidad en el ámbito empresarial.

6.5. Economía Circular en la UE

El modelo de la economía circular es una filosofía de organización de sistemas que está ganando atención tanto en Europa como a nivel global como vía para impulsar nuevas formas de crecimiento económico inspirada en los seres vivos. Sus principios se basan en los ciclos de la naturaleza, donde todos los recursos se reaprovechan y no existe el concepto de desecho. Los nutrientes biológicos son biodegradables se pueden introducir en la naturaleza después de que su valor de uso ya no sea rentable. Los nutrientes técnicos hacen referencia a los componentes tecnológicos que son poco aptos para los seres vivos y, por ello, son reutilizados una y otra vez sin entrar en la naturaleza.

Gracias a este tipo de economía, los productos se diseñan para poder ser ensamblados y desmontados un gran número de veces, favoreciendo la reutilización de materiales y el consiguiente ahorro energético que ello conlleva. La adopción de este modelo no solo supone reducir el impacto al medio ambiente, también es una oportunidad para generar importantes beneficios económicos y disminuir la dependencia en los recursos finitos.

A pesar del avance en las tecnologías y en la gestión de residuos, los sistemas de producción europeos basándose en modelos lineales de usar y tirar siguen siendo los más habituales. Según un estudio de McKinsey & Company (“Growth within: A circular economy vision for a competitive Europe”) se pierde el 95% de los materiales y de las energías frente al recurso original, concluyendo así que, en general, Europa utiliza los materiales solo una vez. Por lo tanto, es necesario un impulso conjunto a nivel regional, estatal y europeo que permita la transición industrial y económica hacia este modelo.

El día 2 de diciembre de 2015, la Comisión Europea a fin de facilitar la transición hacia una economía más circular, adoptó un nuevo paquete sobre este tipo de economía, a fin de estimular la transición de Europa e impulsar la competitividad mundial, fomentando el crecimiento sostenible y creando nuevos puestos de trabajo. Este paquete incluye propuestas legislativas revisadas sobre residuos a largo plazo respecto al reciclado y la reducción de los vertidos al igual que términos de mejora in situ con el fin de facilitar la gestión de los residuos, así como un completo plan de acción que establece un mandato concreto para la actual Comisión.

También contempla las fases del ciclo de vida de un producto en sus inicios (producción y consumo) y el mercado de las materias primas secundarias, al igual que incluye medidas centradas en los obstáculos del mercado existentes en sectores o flujos de materiales específicos, como los plásticos, los residuos alimentarios, las materias primas críticas, la construcción y la demolición, la biomasa y los bioproductos, así como medidas horizontales en ámbitos como la innovación y la inversión.

El objetivo del plan es concentrarse en aspectos en los que la actuación a nivel de la UE aporte un valor añadido real y sea capaz de marcar la diferencia sobre el terreno.

Costes y Empleo

La eliminación de la existencia de residuos, el diseño ecológico, la reutilización y medidas similares podrían aportar a las empresas de la UE un ahorro neto de 600.000 millones de euros, o el 8 % del volumen de negocios anual, reduciendo al mismo tiempo las emisiones anuales totales de gases de efecto invernadero en un 2-4 %.

En los sectores de la reutilización, la refabricación y la reparación, por ejemplo, el coste de la remanufactura de teléfonos móviles podría reducirse a la mitad si fueran más fáciles de desmontar. Si se recogiera el 95 % de los teléfonos móviles, podrían obtenerse ahorros en los costes del material de fabricación superiores a los 1000 millones de euros.

El paso del reciclado a la renovación de los vehículos industriales ligeros, en los que los índices de recogida son ya elevados, podría ahorrar 6.400 millones de euros al año (alrededor del 15 % del presupuesto de materiales) en insumos de materiales y 140 millones de euros en costes energéticos, además de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en 6,3 millones de toneladas.

Fase de Producción

Es imprescindible tener en cuenta el diseño de un producto para facilitar su reciclado y contribuir a que sean más fáciles de reparar o más duraderos, con el consiguiente ahorro de valiosos recursos, fomentando a los futuros consumidores de mejores productos gracias a la innovación y al menor coste en cuanto a uso. Es necesario incentivar este tipo de producto, para lo cual la Comisión:

- i. Apoyará la reparabilidad, durabilidad y reciclabilidad de los productos en los próximos planes de trabajo por los que se aplique la Directiva sobre diseño ecológico;
- ii. Preparará un programa de ensayos independiente en el marco de Horizonte 2020 para contribuir a detectar problemas relacionados con una posible obsolescencia programada;
- iii. Propondrá requisitos que hagan más fáciles de desmontar, reutilizar y reciclar las pantallas electrónicas;
- iv. Propondrá la diferenciación de las contribuciones financieras abonadas por los productores en el marco de un régimen de responsabilidad ampliada del productor sobre la base de los costes de final de vida útil de sus productos. Esta disposición de la propuesta legislativa revisada sobre los residuos crea incentivos económicos para el diseño de productos que sean más fáciles de reutilizar o reciclar;
- v. Examinará las posibles opciones que permitan contar con un marco político más coherente para las diferentes líneas de trabajo sobre las políticas sectoriales de productos de la UE y su contribución a la economía circular;
- vi. Estudiará unos requisitos proporcionados sobre la disponibilidad de información sobre reparaciones y piezas de recambio en sus trabajos sobre el diseño ecológico;
- vii. Propondrá recompensas para el fomento de determinadas actividades de preparación para la reutilización a nivel nacional en la propuesta revisada sobre los residuos;
- viii. Trabajarán para una mejor aplicación de las garantías sobre los productos tangibles y examinarán las posibles opciones de mejora, además de combatir las falsas alegaciones ecológicas;
- ix. Adoptará medidas sobre la contratación pública ecológica (CPE), apoyando una mayor implantación y dando ejemplo a través de la contratación de la Comisión y de los fondos de la UE.

Materias Primas y residuos

Es factible mejorar los procesos de producción de modo que se utilicen más eficazmente los recursos y se generen menos residuos. Esto puede crear oportunidades empresariales y estimular la innovación, al tiempo que preservamos nuestro medio ambiente. Para ello La Comisión:

- Incluirá orientaciones sobre mejores prácticas en la gestión de los residuos y eficiencia en el uso de los recursos en los sectores industriales;
- Ofrecerá orientaciones y promoverá las mejores prácticas en relación con los residuos mineros, a fin de mejorar la recuperación de materias primas;
- Clarificará las normas relativas a los subproductos en la propuesta revisada sobre los residuos, a fin de facilitar la simbiosis industrial y crear unas condiciones de igualdad en toda la UE.

Las materias primas secundarias representan tan solo una pequeña proporción de los materiales de producción utilizados en la UE. Existen importantes obstáculos para su asimilación en la economía consecuencia de la incertidumbre de su composición. Hacen falta normas que establezcan confianza. Para ello la Comisión:

- Iniciará trámites para elaborar normas de calidad para materias primas secundarias, en particular para los plásticos;
- Adoptará medidas para facilitar el transporte legal de residuos entre los Estados miembros, junto con nuevas medidas encaminadas a reducir el número de traslados ilegales;
- Revisará la normativa de la UE relativa a los abonos para facilitar el reconocimiento de los abonos orgánicos y basados en los residuos, a fin de desarrollar un mercado a escala de la UE;
- Tomará medidas para facilitar la reutilización del agua, incluyendo una propuesta legislativa sobre requisitos mínimos del agua reutilizada, por ejemplo para el riego y la recarga de acuíferos;
- Efectuará análisis y propondrá opciones sobre la interfaz entre la legislación en materia de sustancias químicas, productos y residuos, en particular sobre cómo mejorar el seguimiento en los productos de las sustancias químicas que suscitan preocupación. De esta forma, garantizará un suministro estable de materias primas mediante la utilización de materiales reciclados.

Las materias primas críticas (MPC) combinan una gran importancia económica para la UE con un alto riesgo asociado a su abastecimiento. Son utilizadas en muchos dispositivos electrónicos de uso cotidiano (por ejemplo, un smartphone puede contener hasta 50 tipos diferentes de metales, incluyendo materias primas críticas). El porcentaje de reciclado de estos materiales es muy bajo lo cual conlleva importantes pérdidas económicas. Es fundamental tratar este aspecto para lo cual la Comisión:

- Tomará medidas para promover la recuperación de las MPC y preparará un informe sobre las mejores prácticas y opciones con vistas a nuevas medidas a nivel de la UE;
- Fomentará la actuación de los Estados miembros sobre este tema en su propuesta revisada relativa a los residuos;
- Estudiará los requisitos de los productos con arreglo a la Directiva sobre diseño ecológico para mejorar la reciclabilidad de los dispositivos electrónicos y la elaboración de normas de reciclado de alta eficiencia.

Reparabilidad de los productos

La Comisión tomará iniciativas en distintos ámbitos con el objetivo de apoyar la reparabilidad de los productos:

- Los trabajos futuros sobre las medidas de ejecución del diseño ecológico revisadas o nuevas contemplarán sistemáticamente la posibilidad de reparar los productos (a partir de 2016);
- La solicitud de normalización sobre eficiencia de los materiales dentro del diseño ecológico incluirá trabajos sobre normas que faciliten la reparación (a más tardar en 2019);
- La Comisión también explorará la posibilidad de imponer requisitos horizontales relativos a la presencia de información sobre reparaciones en el marco de la Directiva sobre diseño ecológico;
- La Comisión elaborará también un programa de ensayos independiente sobre aspectos relacionados con posibles prácticas de obsolescencia programada.

Gestión del Residuo

Europa pierde actualmente cada año unos 600 millones de toneladas de materiales contenidos en los residuos, que podrían ser reciclados o reutilizados. Solo se recicla alrededor del 40% de los residuos producidos por los hogares de la UE, con índices de reciclado del 80% en algunas áreas, y de menos de un 5% en otras. La conversión de los residuos en recursos es el elemento esencial para el aumento de la eficiencia en el uso de los recursos y el avance hacia una economía más circular. La Comisión:

- Fijará un objetivo común de la UE para el reciclado de residuos municipales del 65% de aquí a 2030;
- Fijará un objetivo común de la UE para el reciclado de residuos de embalajes del 75% de aquí a 2030;
- Fijará un objetivo vinculante para reducir los depósitos en vertederos a un máximo del 10% de todos los residuos de aquí a 2030;

- Intensificará su colaboración con los Estados miembros para mejorar la gestión de residuos sobre el terreno;
- Simplificará y mejorará las definiciones de residuos y armonizará los métodos de cálculo;
- Velará por que se utilicen los Fondos Estructurales al servicio de los objetivos de la legislación de la UE sobre residuos y con la guía de la jerarquía de residuos de la UE, en la que se establece un orden de prioridad guiado por el mejor comportamiento ambiental, que va desde la prevención, la preparación para la reutilización, el reciclado y la recuperación de energía hasta la eliminación, por ejemplo en vertedero.
- Propondrá criterios mínimos para los regímenes de responsabilidad ampliada del productor, recompensando a los productores que pongan en el mercado productos más ecológicos y fomenten su recuperación y reciclado al final de su ciclo de vida.

La Comisión modificará la legislación para permitir que los materiales reciclados sean reclasificados como no residuos siempre que cumplan una serie de condiciones generales, que serán las mismas en toda la UE. Esta modificación pretende simplificar el marco legislativo para los operadores del negocio del reciclado y garantizar la igualdad de condiciones. Los criterios de fin de la condición de residuo existentes en toda la UE (por ejemplo, para los desechos de cobre o de vidrio) seguirán en vigor.

La propuesta revisada también incluye un aumento de los objetivos de reciclado de los materiales de embalaje, que reforzará los objetivos relativos a los residuos municipales. En el caso de los residuos industriales, no parece adecuado un enfoque legislativo, habida cuenta de la diversidad de este flujo. Resulta más oportuno un enfoque sectorial que utilice los documentos de referencia sobre las mejores técnicas disponibles (BREF) para abordar los problemas específicos referidos a la gestión de un determinado tipo de residuos. Además, los residuos de envases comerciales e industriales están cubiertos por la Directiva 94/62/CE y la Directiva 2008/98/CE.

Residuos entre Países

El Reglamento atribuye más competencias a los inspectores. Obligación por parte de los Estados miembros para establecer antes de enero de 2017 planes de inspección que determinen el número mínimo de inspecciones que deban realizarse. La Comisión coopera con la red de inspectores de medio ambiente de la UE, Interpol y Europol. También están en marcha otras iniciativas para determinados flujos de residuos, como los de aparatos eléctricos y electrónicos y de vehículos al final de su vida útil.

Seguirán siendo de aplicación las actuales restricciones al traslado transfronterizo de residuos. Ningún traslado entre Estados miembros es posible sin «notificación y autorización previas». Además, los objetivos de reducción de vertidos propuestos por la Comisión exigirán que todos los países de la UE rebajen significativamente sus porcentajes de eliminación en vertedero de aquí a 2030, reduciendo así la posibilidad de circulación transfronteriza de residuos a tal efecto.

Incineración

En la medida de lo posible, se evitará que un producto acabe en un vertedero. Cuando los residuos no se puedan evitar ni reciclar, se recuperará su contenido energético. Así pues, la «producción de energía a partir de residuos» puede desempeñar su papel y crear sinergias con la política climática y energética de la UE, pero siempre guiada por los principios de la jerarquía de residuos de la UE.. A tal efecto, la Comisión adoptará una iniciativa sobre «producción de energía a partir de residuos» en el marco de la Unión de la Energía.

- Innovación e Inversión

La economía circular necesita más investigación, avances e innovación a fin de impulsar la competitividad de la industria de la UE. Serán necesarias inversiones públicas y privadas para conseguir este objetivo. Horizonte 2020, COSME, los Fondos Estructurales y de Inversión, el Fondo para Inversiones Estratégicas y otros programas de la UE constituirán importantes instrumentos de apoyo. Las pymes, incluidas las empresas sociales, se muestran particularmente activas en campos tales como el reciclado, la reparación y la innovación. Desempeñarán un papel importante en el desarrollo de una economía más circular.

La Comisión:

- Ayudará a las pymes a beneficiarse de las oportunidades de negocio asociadas al aumento de la eficiencia de los recursos con la creación del Centro Europeo de Excelencia sobre Utilización Eficiente de los Recursos;
- Aprovechará plenamente el programa de trabajo de Horizonte 2020 para el período 2016-2017, que incluye una importante iniciativa sobre «Industria 2020 en la economía circular», con una financiación superior a 650 millones EUR;
- Junto con el BEI y el Centro Europeo de Asesoramiento para la Inversión, fomentará las solicitudes de financiación y apoyará al desarrollo de proyectos relevantes para la economía circular.

Retos específicos

Plásticos

Necesidad de aumentar el reciclado del plástico en la transición hacia la economía circular. En la actualidad la utilización del plástico está creciendo, pero la eficiencia del reciclado se va quedando obsoleta: se recicla menos del 25% de los residuos plásticos recogidos, y alrededor del 50% van al vertedero. Es muy importante la innovación de este sector, imprescindible para la economía circular gracias al empleo de plásticos para una mejor conservación de los alimentos como para el empleo de estos en la fabricación de vehículos reduciendo así el peso de estos.

La Comisión:

- i. Adoptará una estrategia sobre el plástico en la economía circular que tratará cuestiones como la reciclabilidad, la biodegradabilidad, la presencia de sustancias peligrosas en los plásticos y los desechos marinos.
- ii. Propondrá un objetivo más ambicioso para el reciclado de envases de plástico en la propuesta legislativa revisada sobre los residuos.

Contaminación marina

La Comisión se propone prevenir y reducir considerablemente la contaminación marina de todo tipo, incluidos los desechos marinos. Se estima que la aplicación de la legislación sobre residuos va a reducir estos desechos en al menos un 25 %. El paquete también propone acciones concretas para reducir los desechos marinos en aplicación de los objetivos de desarrollo sostenible de 2030 y el actual objetivo principal de la UE sobre los desechos marinos. Este tema también se examinará junto a la estrategia del plástico en la economía circular.

Desperdicio de alimentos

El desperdicio de alimentos constituye una enorme preocupación en Europa. Se calcula que cada año se desperdician alrededor de 100 millones de toneladas de alimentos en Europa. Los alimentos se pierden o desperdician a lo largo de toda la cadena alimentaria: en la explotación agraria, en el proceso de transformación y fabricación, en las tiendas, en los restaurantes y en el hogar. Aparte de las repercusiones económicas y medioambientales asociadas, el desperdicio de alimentos tiene también una importante faceta social: debe facilitarse la donación de los excedentes alimentarios, de manera que puedan llegar a quienes más los necesitan para que puedan tener unos alimentos comestibles y seguros.

En septiembre de 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó los objetivos de desarrollo sostenible para 2030, que incluyen el de reducir a la mitad el desperdicio de alimentos por habitante correspondiente a los niveles de la venta al por menor y el consumidor y reducir la pérdida de alimentos a lo largo de las cadenas de producción y suministro. La UE y sus Estados miembros se han comprometido a cumplir este objetivo. La nueva propuesta legislativa sobre residuos pide a los Estados miembros que reduzcan el despilfarro de alimentos en cada fase de la cadena alimentaria, lleven a cabo un seguimiento de los niveles de residuos alimentarios y presenten informes con el fin de facilitar el intercambio entre los agentes sobre los progresos realizados.

La Comisión:

- Desarrollará una metodología común de la UE para la medición de los residuos alimentarios y definirá los indicadores pertinentes;

- Creará una plataforma que reúna a los Estados miembros y a todos los agentes de la cadena alimentaria para contribuir a definir las medidas necesarias para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible en materia de residuos alimentarios y compartir las mejores prácticas y los resultados obtenidos;
- Tomará medidas para aclarar la legislación de la UE relativa a los residuos, los alimentos y los piensos, y facilitará la donación de alimentos, así como el uso seguro de antiguos alimentos y subproductos en la producción de piensos;
- Estudiará la manera de mejorar el uso de las menciones de fecha por los agentes de la cadena alimentaria y su interpretación por los consumidores, en particular en el caso de «consumir preferentemente antes del».

Junto con los Estados miembros, la Comisión tomará medidas para clarificar la legislación de la UE relativa a los residuos, los alimentos y los piensos a fin de facilitar la redistribución de alimentos comestibles y seguros a las personas necesitadas y, cuando resulte segura, la utilización de antiguos alimentos como recurso para la alimentación animal. Por ejemplo, la propuesta legislativa sobre los residuos excluye claramente de su ámbito de aplicación los materiales para piensos.

De este modo se garantizará que los antiguos alimentos (por ejemplo, galletas rotas o pan duro) que sean seguros, pero no puedan entrar en la cadena alimentaria por razones comerciales, no se consideren «residuos» en ningún lugar de la UE y puedan, por tanto, utilizarse como recurso para producir piensos animales. La Comisión elaborará también, en cooperación con los Estados miembros y las partes interesadas, directrices relativas a la donación de alimentos en la UE para donantes y bancos de alimentos que expliquen cómo cumplir la legislación pertinente de la UE (seguridad alimentaria, trazabilidad, responsabilidad legal, IVA, etc.).

Sector Residuos de construcción y demolición

Este tipo de residuos, representan uno de los mayores volúmenes de tipos de residuos en Europa. Se produce una tonelada de residuos de construcción y demolición por persona y año, lo que significa 500 millones de toneladas anuales en toda la UE. No siempre se identifican y recuperan los materiales valiosos. La mejora de la gestión de los residuos en este sector puede tener un impacto significativo en la economía circular.

La Comisión:

- i. Adoptará una serie de medidas para garantizar la recuperación de los recursos valiosos y la gestión adecuada de los residuos en el sector de la construcción, así como para facilitar la evaluación del comportamiento ambiental de los edificios.

- ii. Elaborará unas directrices sobre previas a la demolición para impulsar el reciclado de alto valor en el sector, así como protocolos de reciclado voluntario destinados a mejorar la calidad de los materiales de construcción reciclados.

Bioproductos

Los biomateriales, como la madera, los cultivos o las fibras, pueden ser utilizados en una amplia gama de productos y usos de la energía. Además de representar una alternativa a los combustibles fósiles, este tipo de productos son también renovables, biodegradables y compostables. Al mismo tiempo, el uso de recursos biológicos requiere una atención especial en cuanto a su ciclo de vida, los efectos sobre el medio ambiente y el abastecimiento sostenible. En una economía circular, debe fomentarse un uso en cascada de los recursos renovables, junto con su potencial innovador en relación con nuevos materiales, procesos y productos químicos.

La Comisión:

- Promoverá un uso eficiente de los biorrecursos a través de una serie de medidas, como las orientaciones y la difusión de las mejores prácticas sobre la utilización en cascada de la biomasa y el apoyo a la innovación en la bioeconomía;
- Incluirá en la propuesta legislativa un objetivo de reciclado de embalajes de madera y una disposición para garantizar la recogida separada de biorresiduos.

Supervisión

La Comisión propondrá un marco de seguimiento simple y eficaz para controlar los principales elementos del plan de acción. En él se incluirán indicadores en ámbitos como la seguridad del abastecimiento de materias primas clave, la reparación y la reutilización, la generación de residuos, la gestión de residuos, el comercio de materias primas secundarias en la UE y con países no pertenecientes a la UE y la utilización de materiales reciclados en los productos. También se desarrollará una metodología común de la UE para la medición de los residuos alimentarios con el fin de definir los indicadores pertinentes.

Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos

La legislación vigente de la UE fomenta el reciclado de los residuos electrónicos y establece objetivos obligatorios al respecto. Para llevar a cabo un reciclado de las materias primas críticas, se requiere de un reciclado de alta calidad, lo cual es inviable en muchas ocasiones, pues requiere de tecnologías muy avanzadas. Uno de los retos lo constituye la recogida, el desmontaje y el reciclado de los productos que contienen dichas materias.

Será esencial mejorar las tecnologías relacionadas con la reciclabilidad de los dispositivos electrónicos contemplando el diseño de productos, mejorando así la viabilidad económica del proceso de reciclado. En su propuesta revisada relativa a los residuos, la Comisión anima a los Estados miembros a fomentar el reciclado de materias primas críticas.

6.6. Diagrama de la Economía Circular

Se muestra a continuación el diagrama que resume los principios básicos de la economía circular y presenta los tres principios ya definidos:

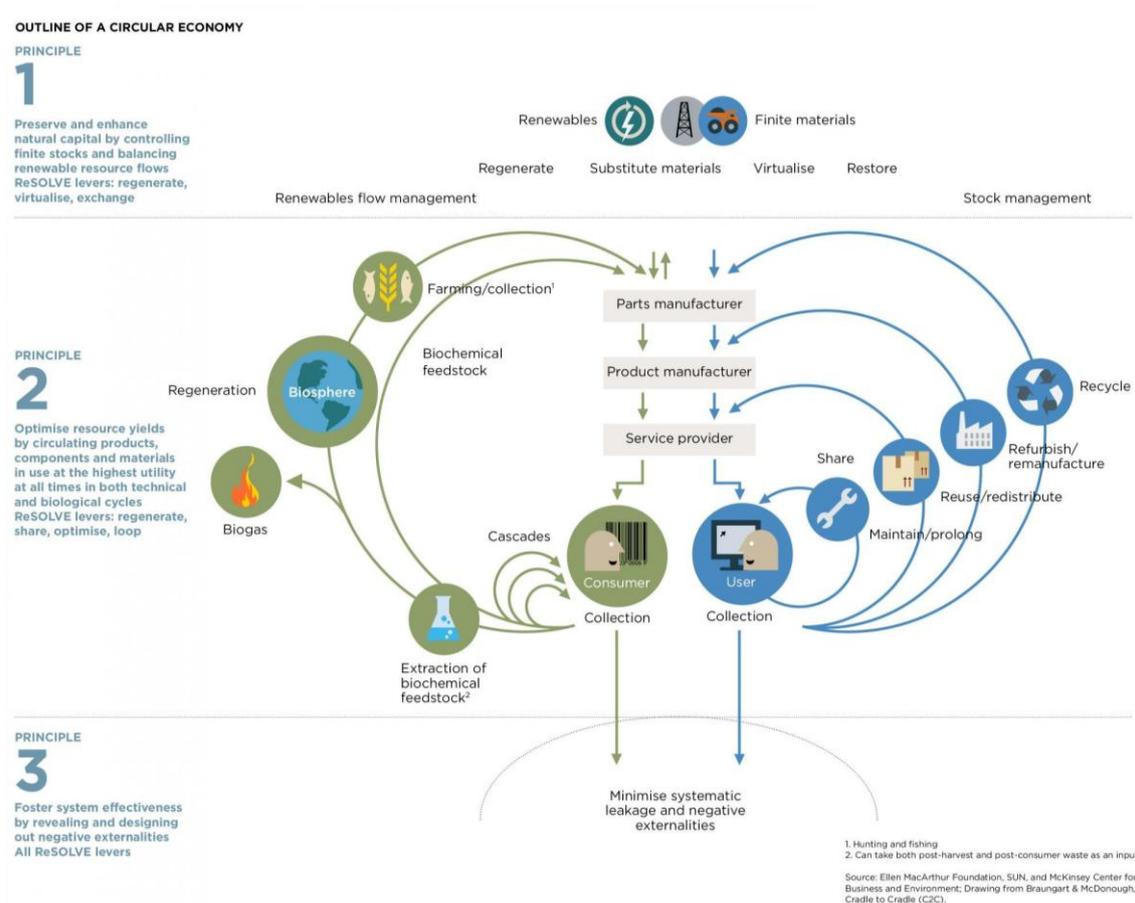


Figura - Principios de la Economía Circular (EMF, 2016)

7. DESARROLLO DE UN INDICADOR DE CIRCULARIDAD. APLICACIÓN PRÁCTICA.

7.1. Modelo de indicadores de circularidad

Una vez se han presentado los conceptos fundamentales que desarrolla la Economía Circular, se pretende aplicar los mismos sobre el flujo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos descrito con anterioridad. Para ello, se va a seguir una metodología de la Ellen Macarthur Foundation, de manera que, mediante una serie de indicadores combinados entre sí, se obtenga un resultado acerca de "cuánto de circular" es el flujo de estudio, lo que lleve posteriormente a estudiar alternativas de mejora en su gestión.

La Ellen Macarthur Foundation fue creada en 2010 con el objetivo de acelerar la transición hacia un modelo de economía circular más sostenible, y desde entonces se ha convertido en una organización líder a nivel mundial en la consecución de este objetivo, colaborando con numerosos gobiernos y grandes multinacionales.

Una de las metodologías de circularidad planteadas de forma pionera por dicha fundación, será aplicada a continuación adaptada a los dispositivos aquí analizados, y consta de dos grupos de indicadores:

Indicadores de circularidad: describen la mayor o menor recuperabilidad de las materias primas y residuos, asociados a las fases de fabricación y desecho del producto respectivamente.

- Se empieza por calcular la fracción de materias primas naturales ("V", Virgin Feedstock) para la fase de fabricación del producto, con la siguiente expresión:

$$V = M (1 - F_R - F_U)$$

donde:

"M" es en adelante la masa del producto

"FR" designa a la fracción procedente de material reciclado

"FU" es la fracción que viene directamente reusada

- Para la fase de desecho del producto, en cambio, se define la cantidad de material destinada a vertedero o valorización energética (W0) como sigue:

$$W_0 = M (1 - C_R - C_U)$$

siendo:

"CR" es la fracción que será separada para su reciclaje

"CU" hace referencia al material que será reusado

- Se puede definir también una cantidad de desecho asociado al proceso de reciclaje al final de la vida útil del producto (W_C), de manera que si se denomina "EC" a la eficiencia de dicho proceso, resulta:

$$W_C = M (1 - E_C) \cdot C_R$$

- Pero también va a existir cierta cantidad de residuo al procesar material reciclado y emplearlo como materia prima (W_F):

$$W_F = M \frac{(1 - E_F) \cdot F_R}{E_F}$$

siendo " E_F " la eficiencia en la obtención de materiales a partir de reciclado.

Ahora bien, a pesar de que se pueden diferenciar dos procesos de reciclaje por separado, es objetivo de la propia Economía Circular el reducir el número de procesos involucrados, y se va a asumir un ciclo cerrado en el que $E_C = E_F$.

- De la misma manera, para calcular la cantidad total de desecho irrecuperable (W), se va a tomar una situación en la que W_C y W_F tengan el mismo peso y la cantidad de residuo asociada al proceso de reciclaje se calcule como ($\frac{W_C + W_F}{2}$). Así, resulta:

$$W = W_0 + \frac{W_F + W_C}{2}$$

A partir de todas estas definiciones, se puede hallar el primero de los indicadores principales de circularidad, el **Índice de Flujo Lineal** ("LFI", Linear Flow Index), que mide precisamente la proporción de material que fluye de manera lineal, esto es, en un esquema tradicional de materias primas naturales que acaban en un desecho irrecuperable. Toma valores entre cero y uno, de manera que los más bajos indican un modelo de mayor circularidad. Se calcula como sigue:

$$LFI = \frac{V + W}{2M + \frac{W_F - W_C}{2}}$$

Es fácil apreciar que valores altos de V y W, provocarían valores de LFI próximos al máximo de 1, ya que precisamente indican valores bajos de material reciclado o reusado. Al contrario, con valores de V y W próximos a cero, sería una situación ideal con escaso aporte de materias primas naturales y poco desecho irrecuperable.

En segundo lugar, se empleará el conocido como Índice de Utilidad (X), que cuenta con dos componentes: una que mide la vida útil del producto (L), mientras que otra hace referencia a la intensidad de uso (U). Teniendo en cuenta ambas, se puede calcular la utilidad como muestra la siguiente expresión:

$$X = \left(\frac{L}{L_{av}} \right) \cdot \left(\frac{U}{U_{av}} \right)$$

El subíndice "av" se refiere a valores medios de la industria o del mercado, tanto para la vida útil como la intensidad de uso del producto.

Esta noción de utilidad se basa en que, si se consiguen productos de un ciclo de vida de mayor duración o cuya funcionalidad permita obtener un uso más eficiente a lo largo del mismo, los residuos generados en comparación con los productos medios presentes en el mercado se verán disminuidos proporcionalmente. Es fácil de observar que incrementos en los valores de ambas componentes, frente a la media de la industria, van a suponer valores superiores del índice de utilidad.

Pues bien, si se combinan los dos parámetros que se han descrito anteriormente, se puede hallar el "Indicador de Circularidad de un material" (MCI, Material Circularity Indicator) mediante la ecuación:

$$MCI = 1 - LFI \cdot F(X)$$

Se construye entonces a partir del Índice de Flujo Lineal (LFI) y una función determinada de la utilidad (X), que sólo afecta a la parte lineal del indicador global, de manera que se asegura que a mayores flujos de material reciclado, menor es la influencia de la utilidad. Cuando V y W toman valores nulos, independiente de la utilidad, esto supondría que $MCI = 1$, para un modelo de producto completamente circular. En el resto de casos, definir una función de la utilidad se emplea para penalizar a productos con vida útil escasa y baja intensidad de utilización.

En los casos de estudio llevados a cabo por la fundación, se ha comprobado que una función de la utilidad del tipo $F(X) = \frac{0,9}{X}$, se ajusta bien en términos generales. Así, se permite que el MCI diferencie entre productos totalmente lineales, pero cuyos valores de vida útil y uso están alejados de la media de la industria o del mercado, frente a aquellos también lineales pero muy cercanos al promedio.

(*) Se ha querido respetar la terminología original de la metodología empleada, con objeto de permitir mayor facilidad en cualquier consulta directa sobre la misma.

Indicadores complementarios: junto al MCI se van a emplear algunos indicadores complementarios que ofrecen información interesante acerca del producto en cuestión y completan el análisis sobre la circularidad en su flujo.

Indicadores complementarios de riesgo, que dan información adicional sobre posibles riesgos del mercado. En nuestro caso se usará:

- i. Riesgo de variación del precio de material. Se recogerán datos históricos del precio real de materiales característicos de un dispositivo electrónico, para evaluar el riesgo asociado según parámetros estadísticos de la serie de datos obtenida.
- ii. Escasez de material. Se valorará la rareza y riesgos de abastecimiento de materiales particularmente escasos en la corteza terrestre. Para ello, se utilizará el informe de la Comisión Europea acerca de materias primas críticas.
- iii. Toxicidad. La presencia de sustancias tóxicas puede estar sometida a regulación actual o a restricciones futuras, lo que puede afectar a su uso y a su futuro en el mercado. Se valorará la presencia de elementos o compuestos con características de toxicidad formando parte del dispositivo electrónico.

Selección del producto

Para llevar a cabo el ejemplo de aplicación del modelo que se acaba de exponer, será necesario escoger un producto concreto sobre el que aplicarlo que, por supuesto, forme parte del flujo de RAEE que se ha seleccionado como objeto de este proyecto.

A pesar de que este modelo de circularidad puede ser aplicado sobre cualquier dispositivo de los tres diferenciados en el flujo de estudio (teléfonos móviles, ordenadores portátiles y tabletas), teniendo en cuenta los escasos datos que se pueden encontrar por parte de los fabricante y de los sistemas de gestión, se ha decidido que el producto que será analizado a continuación sea un teléfono móvil. La razón principal es que se halló una mayor cantidad de datos que para los otros dos dispositivos.

De nuevo cabe insistir en que la aplicación del modelo sobre cualquiera de los otros residuos considerados sería exactamente igual, con pequeñas variaciones en los resultados obtenidos al contar con materiales de fabricación distintos, cuyos procesos de reciclaje varían entre sí, mercados de materias diferentes, distintos precios... lo que provoca variaciones en los indicadores anteriormente mostrados.

7.2. Aplicación práctica. Teléfono Móvil.

A continuación, se llevará a cabo un ejemplo de aplicación práctica del modelo de indicadores de circularidad que se acaba de presentar. Antes de comenzar con los cálculos de estos indicadores, que medirán el grado de circularidad asociado a la gestión de un teléfono móvil como RAEE y los riesgos asociados a la misma, se van a presentar los datos de partida necesarios para poner en marcha dicho modelo.

Datos de Partida

Son necesarios datos de fuentes diversas para definir los parámetros iniciales:

- Según las cifras que muestra el sistema de gestión integrado "Tragamóvil", así como distintos fabricantes de telefonía como Apple, el porcentaje total de materiales de estos dispositivos que pueden reciclarse ronda el 90%. Si bien, en la memoria anual de Recyclia del año 2013, los datos oficiales arrojan un 82,1% de recuperación tras la recogida de los móviles. El grupo de trabajo de este proyecto ha considerado que una cifra del 85% de reciclaje, es representativa de la situación actual en nuestro país.

A su vez, a pesar de que ni fabricantes ni gestores especifican los porcentajes de reuso directo de materiales recuperados, sí que comunican que existe una pequeña parte que funciona de este modo. Por lo tanto, se ha tomado un 5% del global de reciclaje anteriormente mostrado, y se asume que se trata de materia reusada.

- Se han asumido valores conservadores para las eficacias de los tratamientos de reciclaje, con un 75% de rendimiento en los procesos de recuperación de material.

- Según datos de asociaciones de consumidores, los teléfonos móviles tienen una vida útil de unos 18 meses, tras ese tiempo son desechados. En cambio, la media de ciclo de vida para la electrónica de pequeñas dimensiones, como portátiles, ronda los 4 ó 5 años. De la misma manera, se han comparado los tiempos estimados de uso diario de móvil frente a ordenadores y tabletas, para la definición de la intensidad de uso.

- Por último, para construir los indicadores complementarios de riesgo, se han consultado las fuentes ya mencionadas, como el informe de la Comisión Europea sobre materias críticas o datos del mercado de Londres sobre precios de metales que conforman el dispositivo. A este respecto, la composición característica de un móvil, en cuanto a los materiales y elementos que lo conforman, se muestra en el gráfico de la página siguiente.



Figura - Composición material de un teléfono móvil (Eureka-Móvil, 201

Cálculo de los indicadores

Según los datos anteriores, los parámetros iniciales del modelo de circularidad, toman los valores que se muestran en la tabla siguiente:

Parámetros	Valor
Fracción de material que se recicla (FR, CR)	80%
Fracción de material que se reusa (FU, CU)	5%
Eficacia de los procesos de reciclaje (EC, EF)	75%
Vida útil media de un teléfono móvil (L)	1,5 años
Vida útil promedio de la electrónica de pequeñas dimensiones (Lav)	4,5 años
Intensidad de uso de un móvil (U)	0,85
Intensidad de uso media del mercado (Uav)	0,5

Tabla - Parámetros iniciales del modelo de circularidad planteado (Elaboración propia)

A partir de estos valores iniciales, se irán calculado paso a paso los indicadores definidos para llegar al valor final de circularidad del producto. Se ha evitado utilizar la masa total del dispositivo, aunque la metodología permite referirse a dichas unidades.

Indicadores de Circularidad

- Fracción de materias primas naturales:

$$V = (1 - F_R - F_U) = 1 - 0,8 - 0,05 = 0,15 \text{ (provisional)}$$

- Cantidad de material destinada a vertedero o valorización energética:

$$W_0 = (1 - C_R - C_U) = 1 - 0,8 - 0,05 = 0,15$$

Se entiende la coincidencia entre ambos valores, ya que con los porcentajes de reciclado y reuso de material definidos (total de 85% recuperado), el porcentaje restante que se destina a vertedero o valorización tendrá que ser sustituido en la fabricación posterior por un porcentaje similar de materias primas. Ahora bien, para otorgar una mayor exactitud al proceso de cálculo, y fuera de la metodología que se está siguiendo, se ha decidido penalizar el valor de **V hasta 18,75**, asumiendo que los procesos de fabricación, como es lógico, tampoco presentan un rendimiento del cien por cien y necesitan un mayor aporte de materias primas al teórico.

- Cantidad de desecho asociado al proceso de reciclaje al final de la vida útil del producto, siendo E_C la eficiencia del mismo:

$$W_C = (1 - E_C) \cdot C_R = (1 - 0,75) \cdot 0,8 = 0,20$$

- Cantidad de residuo al procesar el material y emplearlo como materia prima:

$$W_F = \frac{(1 - E_F) \cdot F_R}{E_F} = \frac{(1 - 0,75) \cdot 0,8}{0,75} = 0,27$$

- Así, la cantidad total de desecho irrecuperable (W):

$$W = W_0 + \frac{W_F + W_C}{2} = 0,15 + \frac{0,27 + 0,20}{2} = 0,38$$

- Llegamos así al primero de los indicadores de circularidad, el Índice de Flujo Lineal que mide la proporción de material que fluye de manera lineal, frente al modelo buscado de circularidad. Se recuerda que los valores más próximos a cero indicaran un modelo más sostenible (expresados en base uno):

$$LFI = \frac{V + W}{2 + \frac{W_F - W_C}{2}} = \frac{0,1875 + 0,38}{2 + \frac{0,27 - 0,20}{2}} = 0,28$$

Se puede concluir que, para las fracciones de material reciclado y los rendimientos de dichos procesos, el flujo de material se acerca más al modelo circular que a uno lineal.

- A continuación, el definido como Índice de Utilidad, que empleaba los conceptos de vida útil del producto (L) e intensidad de uso (U). Resulta:

$$X = \left(\frac{L}{L_{av}} \right) \cdot \left(\frac{U}{U_{av}} \right) = \left(\frac{1,5}{4,5} \right) \cdot \left(\frac{0,85}{0,5} \right) = 0,57$$

- Por último, combinando los dos anteriores, se calcula el **Indicador de Circularidad de un material** (MCI, Material Circularity Indicator):

$$MCI = 1 - LFI \cdot F(X) = 0,554$$

Es decir, que para el RAEE considerado en este ejemplo práctico, un teléfono móvil, sujeto a los parámetros iniciales definidos tras la toma de datos de los sistemas de gestión y de los fabricantes de estos aparatos, se puede concluir que, tras aplicar el modelo de circularidad basado en la metodología de la Ellen Macarthur Foundation, el principal indicador de circularidad toma un valor de 0,554 sobre 1.

Se puede hablar en términos de: *"el modelo de gestión de un residuo de telefonía móvil, según los sistemas de gestión actuales de nuestro país, muestra un 55% de circularidad según la metodología de estudio"*

Si se lleva a cabo un pequeño análisis de este resultado, según los parámetros del modelo, se pueden apreciar conclusiones interesantes:

- Los actuales procesos de recuperación de material de los RAEE muestran valores elevados en las tasas de reciclaje, lo que asegura un flujo próximo a la circularidad con bajos valores de desecho y de necesidad de materias primas. Aunque el modelo no contempla diferencias entre el reciclaje y el reuso, y sin datos concretos de los fabricantes o gestores acerca de porcentajes exactos de este último, sí se quiere hacer hincapié en la importancia del reuso directo, puesto que precisamente ahorraría los costes económicos y ambientales que acarrearán los procesos de reciclaje en sí mismos.

- Al realizar los cálculos, se observa también que el parámetro que penaliza con mayor magnitud el resultado final del indicador de circularidad, es precisamente el tiempo tan bajo de vida útil que presentan los teléfonos móviles (de tan sólo 18 meses). Si los ciclos de consumo se aproximaran a la media, se estaría hablando de porcentajes de circularidad del MCI por encima del 80%.

Esto habla de la importancia de una variación radical en el modelo de consumo y uso de este tipo de bienes, hacia un mundo en el que cambiar de dispositivo electrónico cada 2 años o menos no sea posible.

Indicadores complementarios

Riesgo de variación del precio del material

Para el cálculo de esta variable complementaria se parte de valores recogidos en la base de datos del London Metal Exchange, de los últimos 5 años. Se han seleccionado una serie de materiales representativos del flujo de estudio, para poder obtener una visión global de las fluctuaciones que sufre su mercado, y del riesgo que puede suponer para el modelo de circularidad planteado de este tipo de RAEE.

Se han elegido los siguientes metales como muestra para el estudio de precios:

Cobre Hierro Níquel Estaño Oro Plata Plomo Zinc

El cálculo se llevó a cabo con los valores de precios mensuales (en dólares por libra de peso, \$/lb) y, sobre ellos, se calcularon los parámetros estadísticos de media y desviación típica. Así se valoró la volatilidad en los precios de los últimos cinco años:

Cobre		Hierro	
Valor promedio	4824,35 \$	Valor promedio	101,70 \$
Desviación típica	869,12	Desviación típica	38,90
σ / \bar{X}	18%	σ / \bar{X}	38%
Níquel		Estaño	
Valor promedio	14.718, 89\$	Valor promedio	19.927,70 \$
Desviación típica	3567,12	Desviación típica	3072,01
σ / \bar{X}	24%	σ / \bar{X}	15%

Oro		Plata	
Valor promedio	1.375 \$	Valor promedio	22,47 \$
Desviación típica	221,30	Desviación típica	7,11
σ / \bar{X}	16%	σ / \bar{X}	32%

Plomo		Zinc	
Valor promedio	2006,05 \$	Valor promedio	2013,51\$
Desviación típica	207,17	Desviación típica	261,69
σ / \bar{X}	10%	σ / \bar{X}	13%

Con los resultados obtenidos, se da un valor proporcional a cada material, partiendo de que al valor máximo (38% - hierro), se le asignará el valor 10 para la ponderación.

Con ello se obtienen los siguiente coeficientes en una escala del uno al diez:

Cobre = 4,7/10 Hierro = 10 /10 Níquel = 6,3/10 Estaño = 4/10

Oro = 4,2/10 Plata = 8,5/10 Plomo = 2,5/10 Zinc = 3,5/10

A la vista de la ponderación se puede concluir que los metales que más fluctuación y, por tanto, riesgo sufren son el hierro y la plata, con una gran diferencia sobre otros como el plomo o el zinc.

Sin embargo, si se consideran todos ellos, se puede concluir que fluctúan de manera intermedia a lo largo del período seleccionado, con un valor global de 5,46 sobre 10, por lo que se puede hablar de riesgo de variación de precio medio. Este valor se tomará como referencia para el indicador.

Escasez de material

Se considerará la disponibilidad de los materiales necesarios para la producción de un teléfono móvil, tomando como referencia la última actualización del informe de la Comisión Europea, publicado en 2014, para el que se tuvo en cuenta tanto la importancia económica de los materiales disponibles, como el riesgo de suministro.

Así, las 20 materias primas críticas se ven clasificadas por su Índice de sustituibilidad (una medida de la dificultad en la sustitución del materia, tomando valores entre 0 y 1, siendo 1 el menos sustituible) y por su tasa de reciclaje al final de su vida útil.

Analizando las materias primas desde el punto de vista del primer factor de riesgo que se había considerado (disponibilidad ó escasez de dicho componente) y según el estudio de la Comisión Europea sobre materias primas, los elementos críticos que pertenecen a la composición de un dispositivo móvil son los siguientes:

Materias primas	Principales productores (2010, 2011, 2012)	Principales fuentes de las importaciones en la UE (principalmente 2012)	Índice de sustitución	Tasa de Reciclaje al final de su vida
Antimonio (Stibium)	China, 86%	China, el 92% (en bruto y en polvo)	0,62	11%
	Bolivia 3%	Vietnam (en bruto y en polvo) 3%		
	Tayikistán 3%	Kirguistán 2% (en bruto y en polvo); Rusia 2% (en bruto y en polvo)		
Cobalto (Cobaltum)	RDC 56% ↑	Rusia (96% Minerales de cobalto y sus concentrados)	0,71	16 %
	China 6%; Rusia 6%; Zambia 6%	EE.UU. (3% Minerales de cobalto y sus concentrados)		

Tierras raras (Pesadas)	China, 99%	China, el 41% (todos REE)	0,77	0%
	Australia 1%	Rusia 35% (todos REE)		
Tierras raras (Ligeras)	China, 87%	EE.UU. 17% (todos REE)	0,67	0%
	EE.UU. 7%			
	Australia 3%			

Tabla - Materias Críticas para un teléfono móvil (Elaboración propia)

Para la aplicación de estos valores a la metodología de circularidad que se presenta, se convertirán tanto el índice de sustitución, como la tasa de reciclaje, a una escala aplicable y comparable (se establecerá una valoración entre el 0 y el 10, siendo en el caso del índice de sustitución propio, el valor 10 para los casos en que la escasez es tan alta que no hay disponibilidad de esa materia prima, y por lo tanto el riesgo es más alto).

Composición	Índice de sustitución	Tasa de Reciclaje al final de su vida (%)	Indicador de sustitución Propio	Indicador de Reciclaje al final de su vida Propio
Plástico			0	4,07
Vidrio			0	6,76
Cobre			0	8,09
Cobalto	0,71	16	7,1	1,6
Litio			0	8,09

Carbono			0	8,09
Hierro			0	8,09
Níquel			0	8,09
Estaño			0	8,09
Zinc			0	8,09
Plata			0	8,09
Antimonio	0,62	11	6,2	1,1
Oro			0	8,09
Plomo			0	8,09
Mercurio			0	8,09
Tierras raras	0,72	0	7,2	0

Tabla - Valores asociados a la escasez de materiales (Elaboración propia)

Los valores para las tierras raras serán el valor medio entre las pesadas y ligeras.

Para el resto de materias primas que no tienen valoración por parte de la UE en lo que refiere a la sustituibilidad, dado que no se consideran materias críticas en su disponibilidad, se le asignará el valor directamente de 0 ya que serán sustituibles, y por poseen el valor mínimo de riesgo.

Los indicadores de las tasas de reciclaje de los elementos que no son publicados por la UE, se asignarán según los datos publicados por el MAGRAMA (2013), agrupando todos los metales con el mismo valor, ya que se desconoce la información al detalle para cada uno (la tasa de reciclaje de los metales 2013 fue 80,9%).

Toxicidad

En función de la concentración se pueden considerar tóxicos determinados metales, mientras que otros son biológicamente importantes. Las dosis tóxicas en humanos, especialmente las letales, son muy variables y para muchos compuestos no se han determinado. Se conocen las concentraciones plasmáticas de muchos casos de muerte, pero no se han relacionado con la dosis ingerida.

En toxicología, se denomina DL50 (Dosis Letal, 50%), a la dosis de una sustancia o radiación que resulta mortal para la mitad de un conjunto de animales de prueba. Los valores de DL50 son usados con frecuencia como un indicador general de la toxicidad aguda de una sustancia. Por lo tanto, en lo referente a las características de los componentes, se compararán estos valores para hacer una estimación de su toxicidad en base a una escala cualitativa, a la que posteriormente se le asignarán unos valores. Debe estudiarse también cómo se ven afectadas por la legislación dichas sustancias en lo relativo a su toxicidad, con la regulación actual o bien por restricciones futuras, afectándolo en el caso de que exista legislación vigente para dicho componente.

Así pues, resultan los siguiente valores de toxicidad asociada a los elementos presentes:

Composición	Toxicidad	Identificador de riesgo
Plástico	No tóxico	0
Vidrio	No tóxico	0
Cobre	Potencial tóxico	6,67
Cobalto	Potencial tóxico	6,67
Litio	No tóxico	0
Carbono	No tóxico	0
Hierro	Potencial tóxico	6,67
Níquel	Principalmente tóxico	10

Estaño	Baja toxicidad	3,33
Zinc	Potencial tóxico	6,67
Plata	Baja toxicidad	3,33
Antimonio	Baja toxicidad	3,33
Oro	No tóxico	0
Plomo	Principalmente tóxico	10
Mercurio	Principalmente tóxico	10
Tierras raras	No tóxico	0

Toxicidad	Identificador de riesgo por toxicidad
No tóxico	0
Baja toxicidad	3,33
Potencial tóxico	6,67
Principalmente tóxico	10

Tabla - Valores asociados a la toxicidad (Elaboración propia)

A priori, no se afectará a ninguno de los elementos por una legislación restrictiva.

8. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE MEJORA

En este punto de la memoria se van a presentar posibilidades de mejora en la gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, si bien las alternativas pasan por cambios en todo el ciclo de vida de estos dispositivos. Algunas de las soluciones consideradas por el grupo de trabajo de este proyecto se exponen a continuación.

8.1. Ecodiseño

El ecodiseño se relaciona directamente con el diseño sostenible, aquel que considera acciones orientadas a la mejora ambiental del producto en todas las etapas de su ciclo de vida, desde la conceptual, hasta su tratamiento como residuo. El objeto es obtener el máximo valor y el menor impacto ambiental y social, a lo largo de todo el ciclo de vida.

Se propone entonces aquí para la mejora tecnológica de los procesos de producción de los AEE, permitiendo de esta manera rentabilizar más sus materiales de construcción y fomentar no solo un reciclaje más sencillo, sino la utilización de algunos de sus componentes sin necesidad de procesos previos de reciclaje. Estas medidas se dejarían notar de manera notable en el modelo de circularidad planteado sobre la gestión de un móvil, con un aumento directo de los porcentajes de material total reciclado y reusado.

Actualmente, la comisión Europea está implantando medidas de ecodiseño para mejorar la eficiencia energética de los AEE, facilitando su recuperación, e integrándolas como parte de su estrategia de economía circular. Así, se están exigiendo requisitos adicionales, por ejemplo, a los fabricantes de televisores y ordenadores. Si bien este enfoque necesitar ampliar su campo de estudio más allá de la eficiencia, buscando mejoras de cara a la reparación, reciclaje y durabilidad del producto (también relacionada con la obsolescencia programada). Se espera que la UE desarrolle una directiva específica sobre ecodiseño que permita estas y otras mejoras.



Figura - Principios del ecodiseño (BEC, 2016)

8.2. Reducción de la toxicidad

Tal como se ha citado a lo largo de esta memoria, la toxicidad es un parámetro que debe tenerse en consideración por la presencia de elementos que componen los AEE con carácter tóxico, tanto para el medio ambiente como para la salud humana, provocando también dificultades en la gestión, puesto que hay que llevar a cabo procesos más complejos para su correcto almacenamiento y manejo.

En la línea del desarrollo de nuevas tecnologías y el ecodiseño, se debe primar la producción de aparatos con una menor carga tóxica para una fácil recuperabilidad, pues se simplificarían los procesos de reciclaje y se alcanzarían mayores efectividades en los mismos. A su vez, los objetivos en el tratamiento de RAEE deben enfocarse en reducir la cantidad de residuo generado y limitar la peligrosidad de sus componentes, permitiendo de este modo su reutilización. Como ya se visto, esto permitiría recuperar gran cantidad de metales, además de plástico y vidrio.

La toxicidad también debe considerarse a efectos del riesgo de escasez o disponibilidad de los materiales que componen los aparatos electrónicos, puesto que posibles futuras limitaciones sobre su uso tendrían su efecto en los materiales potencialmente utilizables en la construcción de los AEE.

8.3. Aumento de la eficacia del reciclaje

Viene asociado directamente con un mayor desarrollo tecnológico, pero también con los conceptos anteriores de ecodiseño y reducción de sustancias tóxicas, puesto que estos afectan al total de material recuperable, que se debe concebir como tal desde el inicio del ciclo de vida del producto.

Aunque la legislación vigente en la UE fomenta el reciclado de los residuos electrónicos y establece objetivos obligatorios al respecto, en muchas ocasiones, estos procesos requiere de tecnologías muy avanzadas, con efectividades alejadas del 100%, lo que provoca la generación de residuos y un gasto energético considerable. El desarrollo de nuevas tecnologías, a través de programas de I+D, será de vital importancia para el sector de los RAEE.

También puede asociarse a los propios estándares de calidad de los productos que se fabriquen. Una mayor calidad, relacionado con unos materiales más ecológicos y sostenibles, permitirá un mayor potencial de reciclaje y la disminución en la generación de residuos, tal y como plantea la Economía Circular.

8.4. Reparación

Desde hace algunos años se viene fomentando la reparación de los móviles y otros aparatos electrónicos como mecanismo de gestión. En esta línea, existen ya medidas, como las que se citan en el Real Decreto 208/2005, por las que se fija como objetivo el 3% de los residuos generados para la reutilización en 2017, ofreciendo la posibilidad de vuelta al mercado del nuevo producto ya reparado.

Ahora bien, las posibilidades que ofrece la reparación de dispositivos usados son mucho mayores que la actual gestión llevada a cabo de esta manera. Opciones como la donación o los mercados de segunda mano, deben desarrollarse en gran medida en los años venideros, con el objetivo de aumentar el ciclo de vida útil de estos aparatos que, como se vio en el modelo de circularidad, penaliza mucho su carácter sostenible.

Numerosas organizaciones que hemos citado anteriormente están desarrollando proyectos para que estos teléfonos puedan llegar a los más desfavorecidos en países menos desarrollados, y por tanto se disminuye paralelamente el problema de la generación masiva de AEE. Por otra parte le acercas el producto a personas necesitadas cuyo nivel adquisitivo no alcanza para obtener este tipo de bienes.

Por último, concluir resaltando que la balanza en el modelo global de gestión de los RAEE debe inclinarse en gran medida hacia las plataformas de reuso, como la donación, y sistemas de gestión integrados que consigan una recolección total y alcancen mayores efectividades en el tratamiento y recuperación de los materiales que conforman estos productos.

Debe entonces alejarse rápidamente de situaciones como el traslado ilegal de los residuos a países en vías de desarrollo, con la enorme problemática ambiental y social que esto conlleva. Es complejo plantear medidas que permitieran una mejora en situaciones de traslado extracomunitario de los residuos, por causas fundamentalmente económicas. En cualquier caso, se podrían llegar a plantear medidas como la obligación de introducción en el mercado de las materias primas recuperadas en dichos países, de manera que el flujo inicial de residuos volviera de vuelta "circularmente" formando parte de los nuevos productos que llegan a la UE.

Al final, parece que la mejora de la situación con respecto a los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos pasa porque la sociedad en los países desarrollados tome conciencia de la magnitud de la problemática asociada a los mismos, de manera que se produzcan profundos cambios en el modelo de consumo de este tipo de bienes, que pasan por las ideas que plantea la Economía circular, y la concepción de que los residuos no son tales, sino que son recursos que pueden regresar al flujo productivo.

9. CONCLUSIONES

Los objetivos iniciales marcados en este Proyecto Fin de Máster se han visto cumplidos, puesto que se ha realizado un profundo estudio de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y se ha ligado el mismo a los conceptos que plantea la Economía Circular, hasta llegar a desarrollar un modelo de circularidad aplicado a un flujo concreto de estos residuos, que ha permitido obtener resultados interesantes referidos a las vertientes económica, ambiental y social de su gestión.

La conclusión principal es que el proyecto así planteado y la aplicación del modelo de circularidad sobre el modelo de gestión de un producto tecnológico, funciona de manera satisfactoria en un trabajo de investigación como este, y se cree que puede extenderse a enfoques más prácticos, que permitan el desarrollo de los sistemas existentes y mejoras que repercutan en una menor generación de RAEE y más eficacia en su gestión, lo que permitiría solucionar un problema de magnitud mundial.

10. BIBLIOGRAFÍA

BOE R.D. 110/2015

<https://www.boe.es/boe/dias/2015/02/21/pdfs/BOE-A-2015-1762.pdf>

Resumen de la Directiva 2012/19/UE http://www.afec.es/es/directivas/resumen_dir_2012_19_es.pdf

AMBILAMP DIRECTIVA 2012/19 /UE

<http://www.ambilamp.es/faqs/a-que-se-refiere-la-directiva-de-raee>

WIKIPEDIA DIRECTIVAS RAEE

https://es.wikipedia.org/wiki/Directiva_de_Residuos_de_Aparatos_El%C3%A9ctricos_y_Electr%C3%B3nicos

Diario Oficial de la Unión Europea

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:0038:0071:ES:PDF>

Introducción a la problemática de los RAEE (ESTRUCPLAN)

<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=3034>

Cómo reciclar los RAEE (EROSKI)

http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2012/09/10/212515.php

Ejemplo problemática RAEE Argentina

<http://43jaiio.sadio.org.ar/proceedings/SID/15.pdf>

Basura electrónica (EROSKI)

http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2014/03/10/219489.php

Impacto de los Ordenadores

<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19666/TFM%20lga%20Permanyer.pdf?sequence>

MAGRAMA , MATERIALES RAEE

http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/fracciones/aparatos_electr/electricos-y-electronicos-materiales-y-componentes.aspx

Trabajo sobre los RAEE

<http://residuoscadiz.awardspace.com/documentos/planificacion/raee.pdf>

Sistemas de recogida

<http://www.sistemasmedioambientales.com/es/raee-nuevo-rd-1102015>

ECOTIC

<http://www.ecotic.es/es/246570/Reciclaje.htm>

Materias Primas Críticas (CE)

http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-10-263_es.htm

MAGRAMA (SIG)

http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/Programa_de_prevision_aprobado_actualizado_ANFABRA_11_02_2014_tcm7-310254.pdf

LIMASA (Gestión RAEE)

<http://www.limasa3.es/buenas-practicas/en-la-gestion-de-raee/la-gestion-de-aparatos-electricos-y-electronicos>

INTEREMPRESAS (Futuro RAEE)

<http://www.interempresas.net/Reciclaje/Articulos/136730-Hacia-un-nuevo-modelo-de-gestion-de-RAEE.html>

Generalitat Valenciana (RAEE)

[http://www.agroambient.gva.es/documents/20549779/161513659/10.+Residuos+de+aparatos+el%C3%A9ctricos+y+electr%C3%B3nicos+\(RAEE\)/6675a7ab-88f3-4f1a-be51-2c9147f40a78%3Bjsessionid=17398D4F2C1FF1058811F745763A912D.node1](http://www.agroambient.gva.es/documents/20549779/161513659/10.+Residuos+de+aparatos+el%C3%A9ctricos+y+electr%C3%B3nicos+(RAEE)/6675a7ab-88f3-4f1a-be51-2c9147f40a78%3Bjsessionid=17398D4F2C1FF1058811F745763A912D.node1)

Fundación Economía Circular

http://economiecircular.org/wp/?page_id=62

Paquete Economía Circular - Comisión Europea I

http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-6204_es.htm

Paquete Economía Circular - Comisión Europea II

http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0011.02/DOC_1&format=PDF

Real Decreto 110/2015 - RAEE - Novedades

<http://www.gomezacebo-pombo.com/media/k2/attachments/real-decreto-110-2015-de-20-de-febrero-sobre-residuos-de-aparatos-electricos-y-electronicos-principales-novedades.pdf>

Fundación Ellen Macarthur

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/overview/concept>

Conceptos básicos Economía Circular I

<http://www.sostenibilidad.com/economia-circular-que-es>

Conceptos básicos Economía Circular II

<http://www.gelabert.net/por-una-economia-circular/>

Conceptos básicos Economía Circular III

http://www.oas.org/es/sedi/dsd/Energia/CicloCerrado/Colombia/Mission_Julio_Agosto_2014/Presentacion_PCCA_EconomiaCircular_AHerrera_Julio2014.pdf

Escuelas de pensamiento Economía Circular I

<http://www.monografica.org/01/Art%C3%ADculo/1940>

Escuelas de pensamiento Economía Circular II

<http://negociosecarreiras.com.br/economia-circular-os-ciclos-e-certificacao-cradle-to-cradle-parte-23/>

Actualidad - Economía Circular

<http://www.spri.eus/es/actualidad-spri/noticias/innovacion-la-economia-circular-podria-generar-hasta-18-billones-de-euros-a-nivel-europeo-en-2030>

Buenas Prácticas - Residuos

http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/02_10_tcm7-361752.pdf

Mejoras - Buenas Prácticas RAEE I

http://www.crana.org/themed/crana/files/docs/025/064/anexo_doc_gest_raee.pdf

Mejoras - Buenas Prácticas RAEE II

<http://www.life-ecoraee.eu/es/reutilizacion.php>

Mejoras - Buenas Prácticas RAEE III

<http://revertia.com/es/la-reutilizacion-como-la-mejor-de-las-opciones-en-la-gestion-de-los-raee/>

Mejoras - Buenas Prácticas RAEE IV

<http://tv.uvigo.es/es/serial/2405.html>

Mejoras - Buenas Prácticas RAEE V

<http://www.lavanguardia.com/lacontra/20120412/54283677770/benito-muros-todos-los-aparatos-electronicos-estan-programados-para-morir.html>

Mejoras - Buenas Prácticas RAEE VI

<http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/contaminacion/Guia%20Transformacion%20residuos.pdf>

Mejoras - Buenas Prácticas RAEE VII

<http://regiondemurcialimpia.es/fracciones-reciclaje/reciclar-aparatos>

Mejoras - Buenas Prácticas RAEE VIII

http://www.ecologistasenaccion.es/IMG/pdf/propuesta_gestion_residuos_cm.pdf



**ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA
OPTIMIZACIÓN DEL MODELO DE GESTIÓN
DE RAEE**

**MASTER EN INGENIERÍA Y GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL
2015 - 2016**