



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática**

**RECICLADO DE APARATOS ELÉCTRICOS Y  
ELECTRÓNICOS**

**Autor:**

**GUTIÉRREZ CASTILLO, TERESA**

**Tutor(es):**

**Quintano Pastor, Carmen  
Tecnología Electrónica**

**Valladolid, 2021**



# RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

## Resumen

La rápida evolución de la tecnología en los últimos años hace que la generación de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) aumente a gran velocidad, por ello su reciclaje adquiere vital importancia. Se requiere una normativa que establezca la obligación de gestionarlos de manera adecuada.

Siempre que sea posible debe fomentarse la reparación o reutilización de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE), de esta forma se evitará que se conviertan en residuos. Si no es posible, estos deben ser tratados mediante los procesos adecuados, recuperando y valorizando las materias primas, de esta manera se evitará el agotamiento de los recursos naturales infinitos.

Una adecuada gestión de los RAEE evitará su exportación a países subdesarrollados, causando graves problemas en el medio ambiente y la salud de las personas, ya que contienen sustancias tóxicas.

## Abstract

The rapid evolution of the technology in the last years means that the generation of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) is increasing at high speed, therefore, the recycling of this waste is very important and the regulations must establish the obligation to manage them properly.

The repair or reuse of Electrical and Electronic Equipment (EEE) should be encouraged, hence it will prevent them from becoming waste. If this isn't possible, the waste must be treated through the appropriate processes, recovering and valuing the raw materials, in this way, the depletion of infinite natural resources will be drained.

A proper management of WEE will prevent its export to underdeveloped countries causing serious problems for the environment and people's health as they contain toxic substances.

## **Palabras clave**

RAEE, AEE, residuos, reciclaje, medio ambiente, sustancias, contaminación, reutilización.

## **Keywords**

WEEE, EEE, waste, recycling, environment, substances, contamination, reuse.

# ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....</b>  | <b>1</b>  |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO 1. CIFRAS RELEVANTES EN MATERIA DE RAEE.....</b>   | <b>6</b>  |
| 1.1. ESTADÍSTICAS SOBRE RAEE A NIVEL MUNDIAL .....   | 6         |
| 1.2. ESTADÍSTICAS SOBRE RAEE EN ESPAÑA .....   | 8         |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO 2. RAEE NORMATIVA y CLASIFICACIÓN .....</b>  | <b>11</b> |
| 2.1. <b>LEGISLACIÓN EUROPEA SOBRE RESIDUOS DE APARATOS<br/>ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE) .....</b>  | <b>11</b> |
| 2.1.1.    SUSTANCIAS PELIGROSAS.....   | 12        |
| 2.1.2.    PILAS, ACUMULADORES Y SUS RESIDUOS.....  | 15        |
| 2.1.3.    CLASIFICACIÓN DE AEE Y AEE EXCLUIDOS.....  | 15        |
| 2.2. <b>LEGISLACIÓN ESPAÑOLA SOBRE RESIDUOS DE APARATOS<br/>ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE) .....</b> | <b>17</b> |
| 2.2.1.    RECOGIDA DE RAEE .....   | 18        |
| 2.2.2.    CLASIFICACIÓN DE AEE.....  | 20        |
| 2.2.3.    PUNTOS DÉBILES DE LA LEGISLACIÓN VIGENTE.....  | 22        |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO 3. RECICLAJE DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS .....</b>  | <b>23</b> |
| 3.1.    SISTEMAS DE RECOGIDA DE RAEE.....  | 23        |
| 3.2.    PROCESO DE TRATAMIENTO DE RAEE.....  | 25        |
| 3.2.1.    FRAGMENTACIÓN .....  | 25        |
| 3.2.2.    MEDIOS DENSOS .....  | 30        |
| 3.3.    TRATAMIENTOS COMPLEMENTARIOS.....  | 33        |
| 3.3.1.    RECICLAJE DE EQUIPOS QUE CONTIENEN GASES .....   | 33        |
| 3.3.2.    RECICLAJE DE EQUIPOS QUE CONTIENEN PANTALLAS .....   | 35        |
| 3.3.3.    RECICLAJE Y TRATAMIENTO DE PILAS Y BATERÍAS DE POTENCIA<br>.....                             | 38        |
| 3.3.4.    RECICLAJE DE TARJETAS DE CIRCUITOS IMPRESOS .....  | 39        |
| 3.3.5.    RECICLAJE DE LÁMPARAS Y LUMINARIAS.....  | 40        |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO 4. GESTIÓN DEL RECICLAJE DE RAEE.....</b>  | <b>42</b> |
| 4.1.    CERTIFICACIONES DE CALIDAD .....   | 42        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.2. SISTEMAS COLECTIVOS DE RESPONSABILIDAD AMPLIADA DEL PRODUCTOR DE RAEE EN ESPAÑA..... | 43        |
| <b>CAPÍTULO 5. RECICLAJE DE LAS GRANDES MULTINACIONALES.....</b>                          | <b>50</b> |
| 5.1. APPLE.....   | 50        |
| 5.2. SAMSUNG.....   | 52        |
| 5.3. MEDIAMARKT.....  | 54        |
| <b>CAPÍTULO 6. PRESENTE Y FUTURO DE LA BASURA ELECTRÓNICA.....</b>                        | <b>55</b> |
| 6.1. EXPORTACIÓN DE RESIDUOS ELECTRÓNICOS.....  | 55        |
| 6.2. IMPLANTACIÓN DE UNA ECONOMÍA CIRCULAR.....   | 58        |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>  | <b>64</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>  | <b>66</b> |
| <b>ANEXO DE BIBLIOGRAFÍA.....</b>   | <b>74</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Tasa de crecimiento de los residuos electrónicos por categorías.....                                | 1  |
| Figura 2. Ejemplos de aparatos eléctricos y electrónicos y su composición. ....                               | 2  |
| Figura 3. Valor potencial de las materias primas de los residuos electrónicos en 2016.....                    | 3  |
| Figura 4. RAEE generados en el mundo por año con proyecciones futuras.....                                    | 6  |
| Figura 5. Unidades de AEE puestos en el mercado en España en 2019 .....                                       | 9  |
| Figura 6. Evolución de Kt de AEE puestas en el mercado en España, 2016-2019 .....                             | 9  |
| Figura 7. Símbolo de marcado de AEE .....   | 11 |
| Figura 8. Proceso de reciclaje de RAEE.....   | 23 |
| Figura 9. Diagrama de flujo logístico .....   | 24 |
| Figura 10. Vigilancia radiológica y báscula para el pesaje de mercancía .....                                 | 26 |
| Figura 11. Descarga del material de entrada a la planta .....   | 26 |
| Figura 12. Etapas del proceso de fragmentación.....   | 27 |
| Figura 13. Brazo de grúa con pulpo hidráulico .....   | 27 |
| Figura 14. Molino de martillos situado dentro de la cámara de fragmentación .....                             | 28 |
| Figura 15. Conductos de aspiración de residuo ligero.....   | 29 |
| Figura 16. Tambor magnético para la separación de metales férricos. ....                                      | 30 |
| Figura 17. Puestos de triaje manual .....   | 30 |
| Figura 18. Etapas del proceso de medios densos.....   | 31 |
| Figura 19. Proceso de medios densos y fracciones de salida del material.....                                  | 33 |
| Figura 20. Flujo de operaciones especiales para RAEE que contienen, gases, aceites o baterías.....            | 34 |
| Figura 21. Componentes de un televisor de tecnología de Tubo de Rayo Catódico .....                           | 37 |
| Figura 22. Parte de un televisor LCD.....   | 37 |
| Figura 23. Procesos de reciclado según el tipo de pila o batería.....   | 39 |
| Figura 24. Proceso de reciclaje de lámparas y luminarias cuando llegan a planta de reciclaje.....             | 41 |
| Figura 25. Funcionamiento Sistema Colectivo de Responsabilidad Ampliada del Productor .....                   | 44 |
| Figura 26. Evolución de toneladas recogidas años 2009-2019.....   | 45 |
| Figura 27. Evolución anual de toneladas de lámparas recogidas desde 2005 (año que fue fundada Ambilamp) ..... | 46 |
| Figura 28. Evolución anual de toneladas de luminarias desde el año 2012 .....                                 | 47 |
| Figura 29. Operación “Raecash” en la empresa sevillana Recilec .....  | 48 |
| Figura 30. Cadena de suministro circular Apple.....   | 50 |
| Figura 31. Robot de desmontaje Daisy .....  | 51 |
| Figura 32. Composición material de un teléfono móvil.....   | 52 |
| Figura 33. Estructura de economía circular en Samsung Electronics .....                                       | 53 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 34. Flujo mundial de residuos electrónicos .....   | 56 |
| Figura 35. Vertedero de Agbogbloshie, barrio de Accra, Ghana .....  | 57 |
| Figura 36. Calle de Guiyu año 2014 .....  | 58 |
| Figura 37. Economía Circular. Sistema sostenible, reaprovechamiento<br>continuo de las diferentes etapas..... | 59 |
| Figura 38. Esquema de las etapas del ciclo de vida de un producto.....  | 61 |
| Figura 39. Etiquetas energéticas. ....  | 62 |



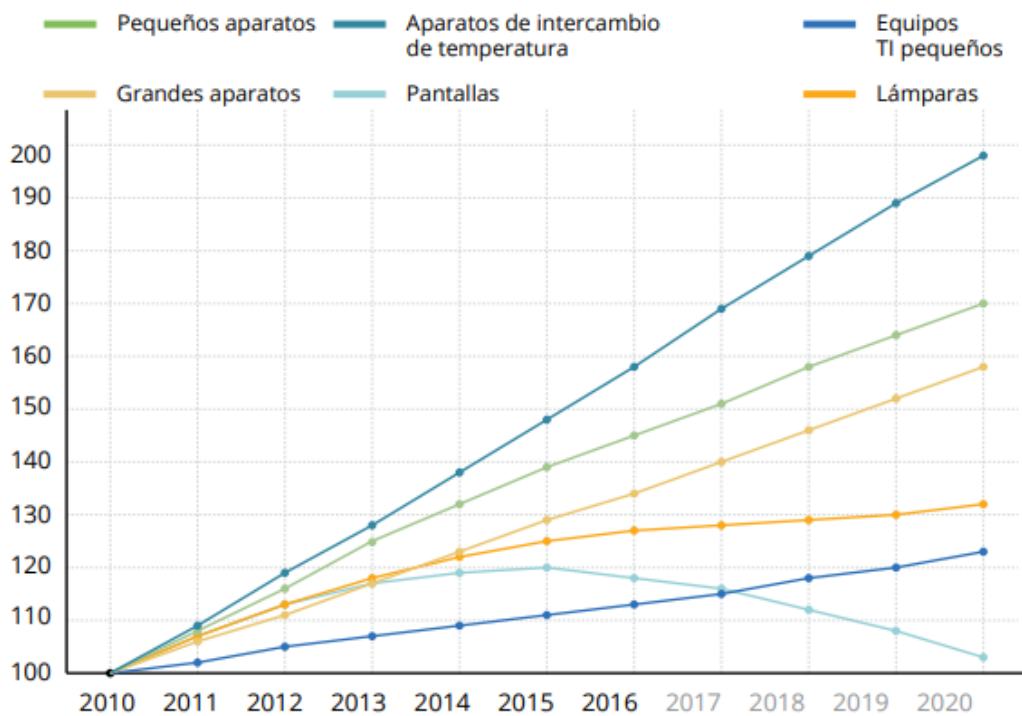
## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Cantidad de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos generados en cada continente en 2019.....                                    | 7  |
| Tabla 2. Tasa de recogida y reciclaje de RAEE de cada continente en el año 2019 .....  | 7  |
| Tabla 3. Recogida y gestión de RAEE en España en 2018 y tasa de reciclado del año 2017 .....   | 10 |
| Tabla 4. Valores máximos de concentración permitidos de sustancias peligrosas .....  | 12 |
| Tabla 5. Sustancias peligrosas incorporadas por la Directiva 2015/863.....   | 14 |
| Tabla 6. Categorías de AEE incluidas en el ámbito de aplicación de la Directiva 2012/19/UE .....   | 16 |
| Tabla 7. Categorías de AEE incluidas en el ámbito de aplicación del Real Decreto 110/15 .....  | 21 |
| Tabla 8. Composición de las Tarjetas de Circuito Impreso .....   | 40 |
| Tabla 9. AEE puestos en el mercado por los productores adheridos a ERP y la cantidad de RAEE de uso doméstico recogidos por ERP en 2020.....     | 49 |
| Tabla 10. AEE puestos en el mercado por los productores adheridos a ERP y la cantidad de RAEE de uso profesional recogidos por ERP en 2020 ..... | 49 |
| Tabla 11. Riqueza recuperada por Apple en el reciclaje.....  | 51 |
| Tabla 12. Valor potencia de las materias primas analizadas en los residuos en el año 2019.....   | 60 |



## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

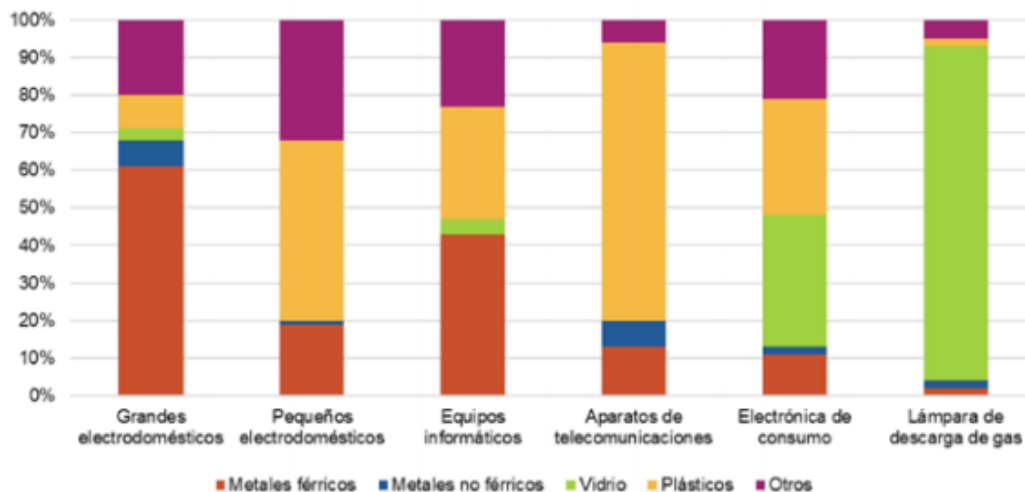
En la actualidad en un número elevado de hogares encontramos electrodomésticos y pequeños aparatos electrónicos que contribuyen a facilitar la vida a millones de personas. *La figura 1* muestra la tasa de crecimiento de los residuos electrónicos a nivel mundial. Los aparatos electrónicos y eléctricos (AEE) también se utilizan en el campo de la sanidad para elaboración de pruebas u operaciones.



*Figura 1. Tasa de crecimiento de los residuos electrónicos por categorías. [Recuperado de: Observatorio mundial de los residuos electrónicos 2017]*

Los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) pertenecen a aparatos que utilizamos en nuestra vida diaria, como cepillos de dientes eléctricos, secadores de pelo, tablets, lavadoras, teléfonos móviles, frigoríficos u ordenadores, que cuando dejan de funcionar y no tienen ninguna utilidad, se consideran como RAEE [1].

Los AEE están constituidos por diferentes componentes como piezas metálicas y plásticas, carcasas de plástico, madera o metal, tarjetas de circuitos impresos, tubos de rayos catódicos, pantallas de cristal líquido, cables, pilas, baterías, componentes eléctricos y electrónicos, diversos fluidos, motores eléctricos, etc. Dichos componentes se fabrican con materiales muy diferentes, en su mayoría, metales (férreos y no férreos), polímeros, vidrios y otros materiales (madera, caucho, cartón, etc.). La proporción de cada uno de los materiales dependerá del tipo de AEE. En la *figura 2* se puede observar los diferentes materiales con los que se fabrican algunos AEE [2].



*Figura 2. Ejemplos de aparatos eléctricos y electrónicos y su composición. [Recuperado de: I Informe anual Recyclia. Tendencias en la industria del reciclaje de RAEE y pilas en España]*

Los principales electrodomésticos están compuestos en su mayoría por metales. Los AEE de naturaleza tecnológica o de telecomunicaciones pueden contener más de 60 elementos diferentes. Los teléfonos móviles contienen metales básicos como el cobre y estaño, metales especiales como cobalto, indio y antimonio, y metales preciosos como la plata, oro y paladio. La mayoría de estos aparatos contienen tierras raras, que es el nombre común

que poseen 17 elementos químicos, escandio, itrio y los 15 elementos del grupo de los lantánidos, responsables del funcionamiento de muchas de sus aplicaciones. Estos materiales les otorgan un valor elevado a los residuos, ya que extraer este tipo de materiales es costoso por su escasez, por esto dichos residuos son considerados como minería urbana [3]. En la *figura 3* se observa el valor de las materias primas de los residuos electrónicos generados en el año 2016.

| Material  | Kilotoneladas (kt) | Millones de € |
|-----------|--------------------|---------------|
| Fe        | 16,283             | 3,582         |
| Cu        | 2,164              | 9,524         |
| Al        | 2,472              | 3,585         |
| Ah        | 1.6                | 884           |
| Au        | 0.5                | 18,840        |
| Pd        | 0.2                | 3,369         |
| Plásticos | 12,230             | 15,043        |

*Figura 3. Valor potencial de las materias primas de los residuos electrónicos en 2016. [Recuperado de: Observatorio mundial de los residuos electrónicos 2017. Cantidades, flujos y recursos]*

Los AEE contienen también sustancias peligrosas para el medio ambiente y para la salud de las personas, por lo tanto, cuando se convierten en residuos deben ser tratadas de forma adecuada. Cadmio, plomo, arsénico, fósforo, aceites peligrosos y gases perjudiciales para la capa de ozono como clorofluorocarburos, hidrofluorocarburos, presentes en los circuitos de refrigeración y en las espumas aislantes de los aparatos de intercambio de temperatura, son algunas de las sustancias peligrosas que pueden contener dichos aparatos. Debido a esto la gestión de los RAEE debe realizarse de forma segura, desde su recogida, almacenamiento, transporte y tratamiento. La recogida debe realizarse de forma separada, sin mezclar con otros residuos, de forma que se evite la rotura de alguno de estos residuos y su

liberación al medio ambiente o la exposición de los trabajadores a dichas sustancias nocivas [3].

Las pilas pueden ser depositadas por los consumidores en contenedores especiales para este tipo de residuos, para después ser transportadas a almacenes donde posteriormente serán enviadas a plantas de tratamiento especializadas. Las baterías por lo general serán recogidas por servicios técnicos, talleres de reparación o similares [2].

La normativa vigente tiene como objetivo reducir el desecho de RAEE en vertederos, debido a que estos residuos son una fuente importante de recursos que pueden ser reutilizados. Deben ser gestionados de manera adecuada, ya que pueden producir emisiones perjudiciales para la atmósfera y pueden contaminar suelos y acuíferos. La gestión del residuo comienza en el momento en el que el AEE es desechado, recogido y transportado para su almacenamiento y tratamiento, y finaliza cuando se obtienen materias primas a partir de las cuales posteriormente se fabricarán nuevos AEE, u otros productos, es decir, comienza un nuevo ciclo de vida [4].

El presente estudio analizará qué sucede con los AEE cuando se desechan y se convierten en RAEE. El objetivo principal de este trabajo es estudiar los tratamientos aplicados a los AEE que ya no tienen ninguna utilidad cuando se convierten en RAEE, teniendo en cuenta si contienen sustancias peligrosas. Dentro de este objetivo general se pueden desglosar los siguientes objetivos secundarios:

1. Analizar la cantidad de RAEE generados a nivel mundial y nacional.
2. Conocer la normativa vigente en materia de RAEE a nivel nacional y europeo.
3. Especificar los tratamientos que se aplican a los residuos electrónicos.
4. Describir algunos de los Sistemas Colectivos de Responsabilidad Ampliada del Productor.

5. Conocer la importancia del correcto tratamiento de RAEE para algunas multinacionales.
6. Concienciar sobre el problema de la exportación ilegal y sus graves consecuencias, planteando como solución un modelo de Economía Circular.

El texto está organizado en seis capítulos, los cuales abordarán las estadísticas sobre la generación de RAEE a nivel mundial y nacional (capítulo 1), la normativa sobre RAEE tanto a nivel europeo como nacional (capítulo 2), los tratamientos realizados a los diferentes RAEE teniendo en cuenta la posibilidad de que contengan sustancias peligrosas (capítulo 3), la gestión del reciclaje de RAEE en España (capítulo 4), la importancia del reciclado de RAEE para algunas multinacionales (capítulo 5) y el presente y futuro de la basura electrónica (capítulo 6).

## CAPÍTULO 1. CIFRAS RELEVANTES EN MATERIA DE RAEE

El gran desarrollo de la economía mundial está relacionado directamente con el consumo de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE). Estos aparatos se han vuelto indispensables en la sociedad actual, mejorando las condiciones de vida, aunque para su producción es necesario emplear diferentes recursos, lo cual obstaculiza la mejora de estas condiciones.

### 1.1. ESTADÍSTICAS SOBRE RAEE A NIVEL MUNDIAL

El consumo de AEE a nivel mundial aumenta en 2,5 millones de toneladas métricas (Mt) al año. Cuando los AEE se desechan, se produce un flujo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), este término es utilizado principalmente en Europa, en el resto de los continentes son conocidos como residuos-e [5]. En *la figura 4* se puede observar la cantidad de RAEE generados en el mundo y su notable aumento desde el año 2014 hasta 2019 y las proyecciones establecidas hasta el año 2030.

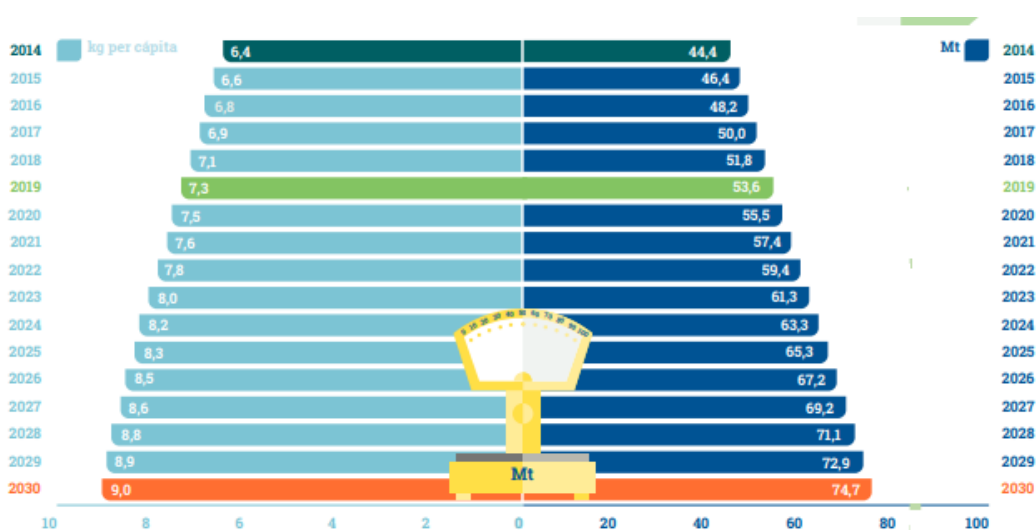


Figura 4. RAEE generados en el mundo por año con proyecciones futuras. [Recuperado de: Observatorio mundial de los residuos electrónicos 2020]

En 2019, el mundo generó 53,6 Mt de RAEE, una media de 7,3 Kg per cápita. Desde el año 2014 hasta el año 2019 el volumen de residuos generados a nivel mundial ha sumado 9,2 Mt y según las proyecciones



establecidas, se alcanzarán 74,7 Mt en el año 2030. El notable aumento de la tasa de consumo de AEE, se debe al incremento de las tasas de consumo de AEE, los reducidos ciclos de vida y las pocas opciones de reparación [5].

Como se puede observar en la *tabla 1*, en el año 2019, la mayor cantidad de RAEE se generó en Asia, seguido de América, Europa, África y en el último lugar Oceanía. Europa es el continente que más RAEE genera per cápita, seguido de Oceanía, América, Asia y por último África.

| CONTINENTES | RAEE GENERADOS (Mt) | RAEE PER CÁPITA (Kg) |
|-------------|---------------------|----------------------|
| Asia        | 24,9                | 5,6                  |
| América     | 13,1                | 13,3                 |
| Europa      | 12                  | 16,2                 |
| África      | 2,9                 | 2,5                  |
| Oceanía     | 0,7                 | 16,1                 |

*Tabla 1. Cantidad de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos generados en cada continente en 2019. [Recuperado de: Observatorio mundial de los residuos electrónicos 2020]*

En 2019, de las 53,6 Mt de RAEE generadas en el mundo, solo 9,3 Mt de RAEE se documentaron como recogidos y fueron reciclados de manera adecuada [5]. Esta cantidad equivale a una tasa de reciclaje del 17,4 % de los RAEE generados. En la *tabla 2* se puede observar que el continente con la tasa de reciclaje más alta fue Europa, seguido de Asia, América, Oceanía y en último lugar África.

| CONTINENTES | TASA DE RECICLAJE (%) |
|-------------|-----------------------|
| Europa      | 42,5                  |
| Asia        | 11,7                  |
| América     | 9,4                   |
| Oceanía     | 8,8                   |
| África      | 0,9                   |

*Tabla 2. Tasa de recogida y reciclaje de RAEE de cada continente en el año 2019. [Recuperado de: Observatorio mundial de los residuos electrónicos 2020]*

El destino del 82,6 % de los RAEE generados y no reciclados es incierto, se estima que un 8% de estos residuos se desecha en cubos de basura para su posterior almacenamiento en vertederos o incineración, suele tratarse de dispositivos informáticos de pequeño tamaño. Algunos de los

aparatos descartados en los países de renta alta se envían como aparatos de segunda mano a países de renta baja o media. La exportación ilegal de residuos aparentemente reutilizables supone una tasa comprendida entre el 7% y el 20 % de los residuos generados. Los países con una renta media o baja aún no disponen de instalaciones de gestión de RAEE desarrolladas y algunos de estos países carecen de ellas, por lo que los residuos no son tratados de manera adecuada, lo que produce a la población grandes problemas para la salud [5].

El mercurio, los retardantes de llama bromados (BFR) y los clorofluorocarbonos (CFC) o los hidroc fluorocarbonos (HCFC) son sustancias peligrosas contenidas en los RAEE. El aumento considerable de estos residuos, las bajas tasas de recogida y los sistemas de eliminación y tratamiento de flujos de residuos no respetuosos con el medio ambiente suponen graves riesgos para la salud humana y el medio ambiente. Se estima que en los flujos mundiales anuales de RAEE no documentados están contenidas 50 t de mercurio y 71 Kt de plástico BFR, las cuales son liberadas en su mayor parte al medio ambiente, afectando a la salud de los trabajadores expuestos a ellos [5].

Los RAEE son considerados como minas urbanas, pueden contener metales preciosos que si se reciclan pueden utilizarse como materiales secundarios. Los residuos de esta clase generados a nivel mundial tendrían un valor de aproximadamente 46.700 millones de euros, las materias más valiosas son el hierro, el cobre y el oro. Una tasa del 17,4% supone una recuperación de 8.266 millones de euros, una pérdida muy importante a nivel mundial [5].

## **1.2. ESTADÍSTICAS SOBRE RAEE EN ESPAÑA**

En los últimos años en España, la cantidad de Aparatos Eléctricos y Electrónicos puestos en el mercado no ha dejado de crecer, en 2019 aproximadamente 734 millones de estos aparatos. En la *figura 5* se puede observar que la mayor parte corresponde a pequeños aparatos, seguido de equipos de informática y telecomunicaciones pequeños [2].

| Categoría  | Total<br>(Mill. Uds) | Doméstico<br>(Mill. Uds) | Profesional<br>(Mill. Uds) |
|--|----------------------|--------------------------|----------------------------|
| 1 Aparatos de intercambio de temperatura               | 5,01                 | 4,55                     | 0,46                       |
| 2 Monitores, pantallas, y aparatos con pantallas       | 10,16                | 9,61                     | 0,55                       |
| 3 Lámparas   | 68,78                | 68,78                    | 0,00                       |
| 4 Grandes aparatos                                     | 54,40                | 20,03                    | 34,37                      |
| 5 Pequeños aparatos                                    | 398,49               | 259,65                   | 138,84                     |
| 6 Equipos de informática y telecomunicaciones pequeños | 193,22               | 193,22                   | 0,00                       |
| 7 Paneles fotovoltaicos grandes                        | 3,97                 | 0,00                     | 3,97                       |
| <b>Total AEE</b>                                       | <b>734,03</b>        | <b>555,84</b>            | <b>178,19</b>              |

Figura 5. Unidades de AEE puestos en el mercado en España en 2019. [Recuperado de: I Informe anual Recyclia. Tendencias en la industria del reciclaje de RAEE y pilas en España]

En el gráfico de figura 6, se observa que la puesta en el mercado de toneladas de AEE ha crecido un 25% interanual en 2019 y se incrementado un 44% respecto a la cantidad del año 2016, esto es debido al lanzamiento de nuevos dispositivos, la creciente digitalización, los cambios en los hábitos de vida y los patrones de consumo [2].

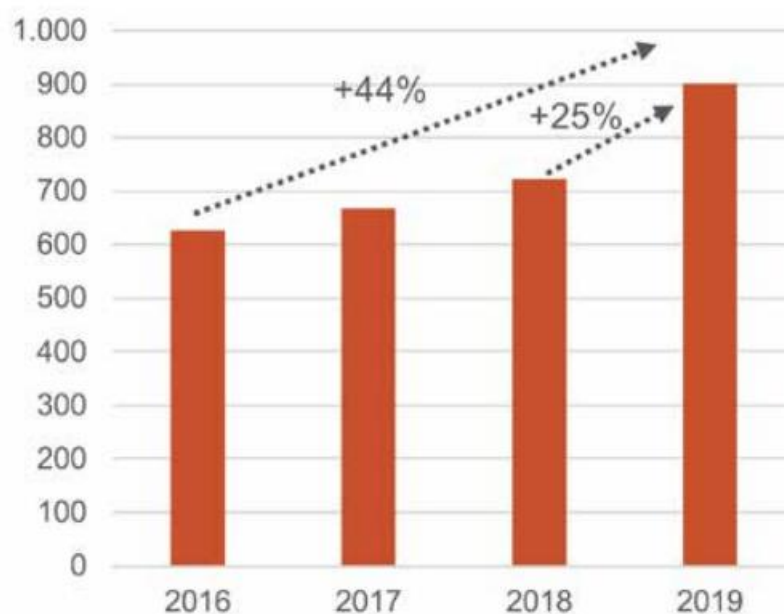


Figura 6. Evolución de Kt de AEE puestas en el mercado en España, 2016-2019. [Recuperado de: I Informe anual Recyclia. Tendencias en la industria del reciclaje de RAEE y pilas en España]

Los últimos datos disponibles sobre la recogida y gestión de RAEE, incluyendo su tratamiento, recuperación y reciclado, pertenecen al año 2018. La *tabla 3* muestra los datos de recogida y gestión de RAEE, respecto al año 2017 se reciclaron 38 Kt más en el año 2018.

| RAEE                      | TONELADAS | KG PER CÁPITA |
|---------------------------|-----------|---------------|
| AEE puestos en el mercado | 722.636   | 15,44         |
| RAEE tratado              | 326.250   | 6,97          |
| RAEE recuperado           | 299.596   | 6,4           |
| RAEE reciclado            | 276.496   | 5,91          |
| RAEE reciclado año 2017   | 238.680   | 5,12          |

*Tabla 3. Recogida y gestión de RAEE en España en 2018 y tasa de reciclado del año 2017. [Recuperado de: I Informe anual Recyclia. Tendencias en la industria del reciclaje de RAEE y pilas en España]*

## CAPÍTULO 2. RAEE NORMATIVA y CLASIFICACIÓN

### 2.1. LEGISLACIÓN EUROPEA SOBRE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)

La **Directiva 2012/19/UE** [4] del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de julio de 2012 sobre Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, actualmente vigente en la Unión Europea en materia de RAEE, proviene de la refundición de la Directiva 2002/96/CE [6] del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de enero de 2003, sobre RAEE. Tiene como fin la protección del medio ambiente y la salud humana reduciendo el impacto negativo provocado por la generación de RAEE. Para eliminar y prevenir la contaminación se usa el principio de “quien contamina paga”. Los productores y responsables de reciclado deberán trabajar de manera conjunta para obtener un diseño ecológico que facilite la utilización y el tratamiento de RAEE.

#### OBJETIVOS DE RECOGIDA

El índice de recogida anual mínimo establecido a partir del año 2019 es del 65% del peso medio de los AEE introducidos en el mercado del Estado miembro o el 85 % de los RAEE generados en dicho Estado.

#### SÍMBOLO PARA INDICAR AEE

Este símbolo indica la recogida separada de AEE, debe representarse de manera visible, legible e imborrable.



*Figura 7. Símbolo de marcado de AEE. [Recuperado de: Diario Oficial de la Unión Europea. Directiva 2012/19/UE]*

## 2.1.1. SUSTANCIAS PELIGROSAS

### DIRECTIVA 2002/95/CE

La Directiva 2002/95/CE [7] del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de enero de 2003 sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en Aparatos Eléctricos y Electrónicos, se conoce también como RoHs (Restriction of Hazardous Substances). Todos los estados miembros deben imponer las mismas restricciones en la utilización de sustancias peligrosas en los AEE. Existe la necesidad de sustituir la presencia de estas sustancias por otras más seguras que permitan la posibilidad de reciclado del AEE.

A partir del 1 de julio de 2006, los nuevos Aparatos Eléctricos y Electrónicos introducidos en el mercado no podrán contener plomo, mercurio, cadmio, cromo hexavalente, polibromobifenilos (PBB) o polibromodifeniléteres (PBDE). PBB y PBDE son sustancias retardantes de las llamas que se utilizan en algunos plásticos

Mediante la Decisión de la Comisión de 18 de agosto de 2005 [8] se modifica la Directiva 2002/95/CE [7] con el objetivo de establecer los valores máximos de concentración de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, ya que resulta imposible en algunos casos suprimir totalmente metales pesados y retardantes de llama bromados. Los valores máximos de concentración permitidos se muestran en la *tabla 4*.

| Sustancias peligrosas | Concentración máxima (%) |
|-----------------------|--------------------------|
| Plomo                 | 0.1                      |
| Mercurio              | 0.1                      |
| Cadmio                | 0.01                     |
| Cromo hexavalente     | 0.1                      |
| PBB                   | 0.1                      |
| PBDE                  | 0.1                      |

*Tabla 4. Valores máximos de concentración permitidos de sustancias peligrosas. [Recuperado de: Diario Oficial de la Unión Europea, Decisión de la Comisión de 18 de agosto de 2005]*

Las categorías de aparatos eléctricos y electrónicos a las que se aplica esta Directiva son los siguientes:

- Pequeños y grandes electrodomésticos.
- Equipos de informática y telecomunicaciones.
- Aparatos electrónicos de consumo.
- Aparatos de alumbrado.
- Herramientas eléctricas y electrónicas, exceptuando grandes herramientas industriales fijas.
- Juguetes o equipos deportivos y de tiempo libre.
- Aparatos médicos, exceptuando los productos implantados e infectados.
- Instrumentos de vigilancia y control.
- Máquinas expendedoras.
- Bombillas y luminarias de los hogares particulares.

No se incluyen dentro de la Directiva 2002/95/CE [6] las piezas de repuesto para la reparación o reutilización de AEE puestos en el mercado antes del 1 de julio de 2006.

#### **DIRECTIVA 2011/65/UE**

La Directiva 2011/65/UE [9] del Parlamento Europeo y del Consejo de 8 de junio de 2011 sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en Aparatos Eléctricos y Electrónicos, refunde la Directiva 2002/95/CE [7], también conocida como RoHS 2. El objetivo de la refundición es reforzar la normativa existente para seguir protegiendo el medio ambiente y la salud humana.

En la Directiva 2011/65/UE [9], a parte de las categorías incluidas en la Directiva 2002/95/CE [7], se incluye otra categoría que abarca todos los AEE que no se clasifiquen en ninguna de esas categorías. También amplía las restricciones en la utilización de sustancias peligrosas a todos los AEE, cables y piezas de repuesto. Las armas, los equipos espaciales, las herramientas industriales fijas de gran tamaño, instalaciones fijas y paneles fotovoltaicos no están incluidos en la aplicación de esta normativa.

#### **DIRECTIVA 2015/863**

En la Directiva delegada 2015/863 [10] de la Comisión de 31 de marzo de 2015 se modifica la Directiva 2011/65/UE [9] del Parlamento Europeo y del Consejo, también conocida como RoSH 3, añadiendo a la lista de sustancias restringidas, el uso de los ftalatos, utilizados principalmente para producir PVC.

| Sustancias peligrosas incorporadas a la lista | Concentración máxima (%) |
|---|--------------------------|
| Ftalato de bis (2-etilhexilo) (DEHP)          | 0.1                      |
| Ftalato de bencilbutilo (BBP)                 | 0.1                      |
| Ftalato de dibutilo (DBP)                     | 0.1                      |
| Ftalato de diisobutilo (DIBP)                 | 0.1                      |

*Tabla 5. Sustancias peligrosas incorporadas por la Directiva 2015/863. [Recuperado de: Diario Oficial de la Unión Europea, Directiva 2015/863 de la Comisión de 31 de marzo de 2015]*

### **REGLAMENTO (CE) n° 1005/2009**

El Protocolo de Montreal [11] que controla noventa y seis productos químicos, en la Unión Europea está controlado por el Reglamento (CE) n° 1005/2009 [12] de 16 de septiembre de 2009 sobre las sustancias que agotan la capa de ozono. La capa de ozono es una región atmosférica entre los 15 y los 35 km de altura en la cual se concentra aproximadamente el 90% del ozono existente en la atmósfera. La concentración de ozono en la baja atmósfera que se está produciendo actualmente en las zonas contaminadas del planeta, contribuye al calentamiento global y causa problemas en la salud pública. El Ozono (O<sub>3</sub>) en la estratosfera es fundamental, filtra la radiación ultravioleta, la cual es perjudicial para la piel, los ojos, debilita el sistema inmunológico y reduce el rendimiento de las cosechas [13].

Los compuestos que tienen en sus moléculas átomos de cloro o de bromo, resultan inertes en la baja atmósfera, pero al llegar a la estratosfera, el sol los rompe, liberando dichos átomos, los cuales aumentan los procesos de destrucción de la capa de ozono [13].

Los clorofluorocarbonos (CFCs), destruyen la capa de Ozono y se utilizan en refrigeradores, aires acondicionados u espumas aislantes. Se sustituyeron por compuestos muy parecidos como los hidroclorofluorocarbonos (HCFCs) o los hidrofluorocarbonos (HFCs), empleados en equipos de refrigeración o aire acondicionado, los cuales destruyen la capa de ozono, aunque en menor medida que los CFCs [13].

### **REGLAMENTO REACH**

El Reglamento (CE) n° 1907/2006 [14], denominado REACH, abreviatura de Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de sustancias y mezclas químicas, tiene como objetivo la protección de la salud humana y el medio ambiente frente a los riesgos que puede causar la fabricación comercialización y uso de sustancias y mezclas químicas.



## **2.1.2. PILAS, ACUMULADORES Y SUS RESIDUOS**

### **DIRECTIVA 2006/66/CE**

La Directiva 2006/66/CE [15] del Parlamento Europeo y del Consejo de 6 de septiembre de 2006 relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores, prohíbe su venta cuando contengan mercurio o cadmio, con el objetivo de reducir al máximo el impacto ambiental. Fomenta un alto nivel de recogida y reciclado de estos residuos por parte de los productores, distribuidores y consumidores. Son necesarios sistemas de recogida para que los consumidores puedan desechar de manera gratuita los residuos de pilas y acumuladores y de esta manera poder conseguir un alto índice de recogida.

Se prohíbe la puesta en mercado de pilas y acumuladores que contengan más del 0.0005% de mercurio en peso y pilas o acumuladores portátiles que contengan más de 0.002% de cadmio. No se aplica a las pilas botón con un contenido de mercurio que no supere el 2% en peso. Se excluyen los dispositivos de emergencia y alarma, equipos médicos y herramientas inalámbricas.

Se fomentará la investigación para conseguir mejoras en el desarrollo de pilas y acumuladores que contengan menor cantidad de sustancias peligrosas o que estén fabricados con sustancias menos perjudiciales.

### **DIRECTIVA 2013/56/UE**

La Directiva 2013/56/56 [16] por la que se modifica la Directiva 2006/66/CE [15], prohíbe la utilización de cadmio en las herramientas inalámbricas, ya que considera que existen otras alternativas en el mercado. También prohíbe la comercialización de pilas botón que contengan más del 0.0005% en peso de mercurio.

## **2.1.3. CLASIFICACIÓN DE AEE Y AEE EXCLUIDOS**

La Directiva 2012/19/UE [4] indica que a partir del 15 de agosto de 2018 los Aparatos Eléctricos y Electrónicos se clasificarán según lo dispuesto en la *tabla 6*. En el apartado 2.2.2 se muestra la clasificación de AEE según la normativa vigente española.

| CATEGORÍAS |   | EJEMPLOS   |
|------------|---|--|
| 1          | Aparatos de intercambio de temperatura  | Frigoríficos, congeladores, aparatos de aire acondicionado, aparatos que suministran automáticamente productos fríos, equipos de deshumidificación, bombas de calor, otros aparatos de intercambio de temperatura que utilicen otros fluidos que no sean el agua.  |
| 2          | Monitores, pantallas y aparatos con pantallas de superficie superior a los 100 cm <sup>2</sup>    | Pantallas, televisores, marcos digitales para fotos con tecnología LCD, monitores, ordenadores portátiles.   |
| 3          | Lámparas  | Lámparas fluorescentes rectas, lámparas LED  |
| 4          | Grandes aparatos (dimensión exterior superior a 50 cm)  | Electrodomésticos, equipos de informática y telecomunicaciones; 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 de control; máquinas expendedoras; equipos para la generación de corriente eléctrica. Los aparatos a los que se hace referencia en los puntos 1 a 3, no están incluidos en esta categoría. |
| 5          | Pequeños aparatos (sin ninguna dimensión exterior superior a 50 cm), incluyendo entre otro        | 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; equipos para la generación de corriente eléctrica. En esta categoría no están incluidos los aparatos a los que se hace referencia en los puntos 1 a 3 y 6.  |
| 6          | Equipos de informática y telecomunicaciones pequeños (sin ninguna dimensión superior a los 50 cm) | Teléfonos móviles, GPS, calculadoras de bolsillo, ordenadores personales, impresoras, teléfonos.   |

*Tabla 6. Categorías de AEE incluidas en el ámbito de aplicación de la Directiva 2012/19/UE. [Recuperado de: Diario Oficial de la UE]*

Los aparatos que se excluyen de la clasificación establecida en la *tabla 6* son los siguientes:

- AEE utilizados para garantizar la seguridad de los Estados miembros como armas, municiones y el material de guerra para fines militares.
- AEE que formen parte de otro aparato no incluido en la clasificación.
- Bombillas de filamento.
- Aparatos diseñados para enviar al espacio.

- Grandes herramientas industriales fijas.
- Grandes instalaciones fijas, con excepción de los equipos no creados específicamente como parte de estas y que no formen parte de dicha instalación.
- Medios de transporte para personas o mercancías, excluidos vehículos eléctricos no homologados.
- Aparatos para fines de investigación con uso destinado solo a empresas.
- Productos sanitarios que puedan ser infecciosos antes de que finalice su ciclo de vida.

### **DECISIÓN 2000/532/CE**

Los residuos se codifican atendiendo a lo dispuesto en la Decisión 2000/532/CE de la Comisión de 3 de mayo de 2000 [17]. Esta decisión establece una Lista Europea de Residuos, **LER**, que clasifica los residuos en función de su origen y naturaleza, y se les asigna un código de 6 cifras, código LER. Los residuos marcados en la lista con un (\*) se consideran residuos peligrosos, el resto son residuos no peligrosos. En el caso de que los residuos se identifiquen mediante un código espejo, es decir, dos o más códigos relacionados en los que uno es peligroso y el otro no, habrá que determinar si dichos residuos contienen sustancias peligrosas y en que concentración, para asignarle el código de residuos peligroso o el de no peligroso.

## **2.2. LEGISLACIÓN ESPAÑOLA SOBRE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)**

La normativa española, de acuerdo con la normativa europea sigue manteniendo el principio de responsabilidad del productor, “quien contamina paga”. La responsabilidad del productor favorece a la prevención de la generación de RAEE, al ecodiseño y a la reciclabilidad de los AEE. Se pretende obtener mejores diseños de AEE cuyo desmontaje sea más sencillo, favoreciendo su reciclado y reducir la cantidad de sustancias peligrosas contenidas en estos aparatos.

El **Real Decreto 110/2015** [18], del 20 de febrero, sobre residuos de aparatos electrónicos y eléctricos, incorpora al ordenamiento jurídico español la Directiva 2012/19/UE [4]. Se deroga el anterior Real Decreto 208/2005 [19] sobre Aparatos Eléctricos y Electrónicos por la necesidad de incorporar mejoras a la normativa ya existente.

## **PILAS Y ACUMULADORES**

El Real Decreto 106/2008 [20], de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental, incluye la Directiva 2006/66/CE [15] del Parlamento Europeo y del Consejo sobre pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores, ya descrito en el apartado 2.1.2.

Objetivos de recogida para el año 2020 y siguientes:

- 50 % pilas y acumuladores portátiles.
- 70 % pilas y acumuladores industriales que no contengan Cadmio ni plomo.
- 98% pilas y acumuladores industriales que contengan cadmio o plomo.

Las Comunidades Autónomas pueden aprobar un plan más exigente respecto a los objetivos de recogida.

## **SUSTANCIAS PELIGROSAS**

Mediante el Real Decreto 219/2013 [21], de 22 de marzo, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, se incorpora al ordenamiento jurídico la Directiva 2011/65/UE [9] del Parlamento Europeo y del Consejo sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, descrita en el apartado 2.1.1.

## **OBJETIVOS**

Se pretende establecer una regulación más clara que aumente la seguridad jurídica y describa con mayor claridad las obligaciones por parte de los usuarios, fabricantes, representantes autorizados, importadores, distribuidores y gestores. Para fomentar la reutilización se deben estructurar las obligaciones de información de los productores de AEE y gestores de RAEE sobre la recogida y valorización de los RAEE. La gestión eficiente de RAEE para garantizar la protección del medio ambiente se debe realizar bajo la responsabilidad ampliada del productor [18].

### **2.2.1. RECOGIDA DE RAEE**

Las instalaciones de recogida deben ser accesibles, eficientes y controladas. Se exigirá un alto grado de recogida, sobre todo de aparatos de

refrigeración, ya que contienen sustancias que agotan la capa de ozono y gases fluorados de efecto invernadero, lo que supone un riesgo para el medio ambiente. Se debe identificar el RAEE cuando se entrega para garantizar su control y trazabilidad [18].

## **CUATRO CANALES DE RECOGIDA**

El Real decreto 110/15 [18] define cuatro canales de recogida:

- 1. Recogida por las Entidades locales:** podrá ser a través de puntos limpios o los mecanismos que establezca la propia Entidad local, como la recogida puerta a puerta o los puntos móviles de recogida. Existe la posibilidad de que las Entidades locales acuerden la gestión de los residuos recogidos con los productores de AEE o con los gestores de RAEE, sin perjudicar las obligaciones de financiación que tienen los productores.
- 2. Recogida por los distribuidores:** deben garantizar al usuario en el momento de suministro de un nuevo producto, la recogida de un RAEE equivalente al que compra. Se impone a los grandes distribuidores cuya zona de venta de AEE tenga un mínimo de 400 m<sup>2</sup> a recoger los RAEE muy pequeños, cuya dimensión exterior no sea superior a 25 cm, sin coste alguno y sin la condición de que el usuario tenga que comprar otro aparato equivalente. Estas condiciones también son válidas para la venta on-line, los transportistas que entregan los aparatos en los domicilios particulares pueden recoger los residuos para entregarlos en las plataformas logísticas de los distribuidores o devolverlos a las tiendas, sin necesidad de que sean gestores de residuos. Existe un sistema de trazabilidad documental que garantiza que los residuos recogidos en los hogares se entregan en su destino correspondiente, evitando desvíos ilegales.
- 3. Recogida por los productores de AEE:** podrán organizar sus propias redes de recogida de RAEE domésticos o reforzar las que ya existen, teniendo en cuenta lo que las autoridades competentes exijan. La finalidad es que las redes de recogida completen la totalidad de recogida de RAEE donde sea necesario, para que la recogida se realice en toda la geografía nacional.
- 4. Recogida por los gestores de RAEE:** deben cumplir los requisitos genéricos en materia de recogida y emitirán un justificante al usuario con la información del residuo entregado.

## CONDICIONES DE RECOGIDA Y TRANSPORTE DE RAEE

La recogida separada y el transporte de los RAEE debe efectuarse en las condiciones óptimas para la preparación para la reutilización, el reciclado y el correcto confinamiento de las sustancias peligrosas. Las pilas extraíbles de los RAEE se extraerán de éstos y serán recogidas de manera separada, siempre que no se necesite la intervención de un profesional cualificado para ello. Se evitará alcanzar las condiciones que puedan provocar la rotura de los RAEE que contengan mercurio, plomo, fósforo o cadmio o sustancias que agoten la capa de ozono [18].

Durante el transporte y almacenamiento de RAEE no se realizarán aperturas o desmontajes de los residuos, estas operaciones se realizarán en los centros de preparación para la reutilización y en las instalaciones autorizadas de tratamiento específico de RAEE con el objetivo de proteger la salud humana, evitar la emisión de sustancias tóxicas al medio ambiente y evitar que los RAEE pierdan sus componentes y materiales esenciales. El transporte de RAEE lo realizarán los gestores registrados [18].

### 2.2.2. CLASIFICACIÓN DE AEE

El Real Decreto 110/2015 [18], a partir del 15 de agosto de 2018, clasifica los AEE se clasifican según lo dispuesto en la *tabla 7*.

| CATEGORÍAS |   | SUBCATEGORÍAS  |
|------------|---|--|
| 1          | Aparatos de intercambio de temperatura exceptuando  | Excepto:<br>- Aparatos eléctricos de intercambio de temperatura clorofluorocarburos (CFC), hidroclorofluorocarburos (HCFC), hidrofluorocarburos (HFC), hidrocarburos (HC) o amoníaco (NH <sub>3</sub> ).<br>- Aparatos eléctricos de aire acondicionado<br>- Aparato eléctrico con aceite en circuitos o condensadores |
| 2          | Monitores, pantallas, y aparatos con pantallas de superficie superior a los 100 cm <sup>2</sup> | - Monitores y pantallas LED.<br>- Otros monitores y pantallas.   |
| 3          | Lámparas  | - Lámparas de descarga (mercurio) y lámparas fluorescentes.<br>- Lámparas LED  |

|   |  |   |
|---|--|---|
| 4 | <b>Grandes aparatos que posean una dimensión exterior superior a 50 cm</b>                                   | 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. No incluye los aparatos contenidos en las categorías 1 a 3 ni 7 |
| 5 | <b>Pequeños aparatos que no tengan ninguna dimensión exterior superior a 50 cm</b>                           | 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 la generación de corriente eléctrica. No están incluidos los aparatos contenidos en las categorías 3 y 6.  |
| 6 | <b>Equipos de informática y telecomunicaciones pequeños que no tengan ninguna dimensión superior a 50 cm</b> |   |
| 7 | <b>Paneles fotovoltaicos grandes con una dimensión exterior a 50 cm.</b>                                     | - Paneles fotovoltaicos con silicio.<br>- Paneles fotovoltaicos con telurio de cadmio.  |

*Tabla 7. Categorías de AEE incluidas en el ámbito de aplicación del Real Decreto 110/15. [Recuperado de: Boletín Oficial del Estado]*

### **PAUTAS PARA LA CLASIFICACIÓN DE AEE**

1. Inspección visual. Los AEE que posean carcasas incompletas, carezcan de algún componente esencial, su estado sea inadecuado o tengan daños superficiales, serán clasificados como RAEE no reutilizables y serán enviados a una planta de tratamiento.
2. Se recomienda comprobar en el punto de entrega de los AEE, antes de trasladarlos al centro de preparación para la reutilización: el aislamiento, toma a tierra y los cortocircuitos. Si no cumplen estos requisitos se valorará una posible reparación, en caso de no ser viable se enviarán a una planta de tratamiento de RAEE.
3. Respecto al consumo energético, podrán prepararse para la reutilización, en el caso de frigoríficos, congeladores, lavadoras y lavavajillas cuando posean una etiqueta energética B o superior. En el caso de aparatos de aire acondicionado y secadoras deben poseer una etiqueta C o superior.

4. Las pantallas que tengan tubos catódicos no podrán ser preparadas para su reutilización.

### **2.2.3. PUNTOS DÉBILES DE LA LEGISLACIÓN VIGENTE**

Analizando la normativa vigente, existen aspectos que pueden mejorarse. Los consumidores desconocen el coste que asumen en su factura respecto al reciclaje de los AEE. Parte del dinero recaudado se destina a los SCRAP, Sistemas Colectivos de Responsabilidad Ampliada del Productor, los cuales se encargan de la recogida selectiva y recuperación de los residuos en España, el consumidor no tiene constancia ni conocimiento sobre ello [22].

El problema de la exportación de residuos a otros países sigue existiendo, causando daños a países subdesarrollados, por el hecho de que no se cumple el objetivo de obtener unas instalaciones capaces de tratar de manera adecuada todos los RAEE generados en el país [22].

Se omite la inversión en I+D para crear técnicas adecuadas que sustituyan las sustancias perjudiciales para el medio ambiente por otras menos nocivas. Tampoco se contempla ningún protocolo que deban seguir los fabricantes de AEE. Muchos de ellos no cumplen la obligación de ofrecer piezas de recambio, fomentando con ello la reutilización [22].

Todos los Estados miembros deben ponerse de acuerdo, lo supone una dificultad y ralentiza la modificación y actualización de la normativa vigente [22].

Para reforzar los puntos débiles se debe incrementar la recogida selectiva y valorización del material y fomentar la reutilización. También se debe asegurar el tratamiento adecuado de los RAEE, utilizando técnicas recuperadoras. Deben desaparecer las prácticas ilegales, evitando el desvío de RAEE a mercados ilegales paralelos [22].



## CAPÍTULO 3. RECICLAJE DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

El proceso de reciclaje empieza cuando el AEE es desechado, recogido y transportado para su almacenaje y posterior tratamiento. Cuando finaliza su tratamiento, las materias primas obtenidas, se utilizan para fabricar nuevos aparatos que se serán introducidos de nuevo en el mercado (ver figura 8). Antes de detallar las etapas del reciclado de AEE, se describirán los sistemas de recogida de RAEE es España.

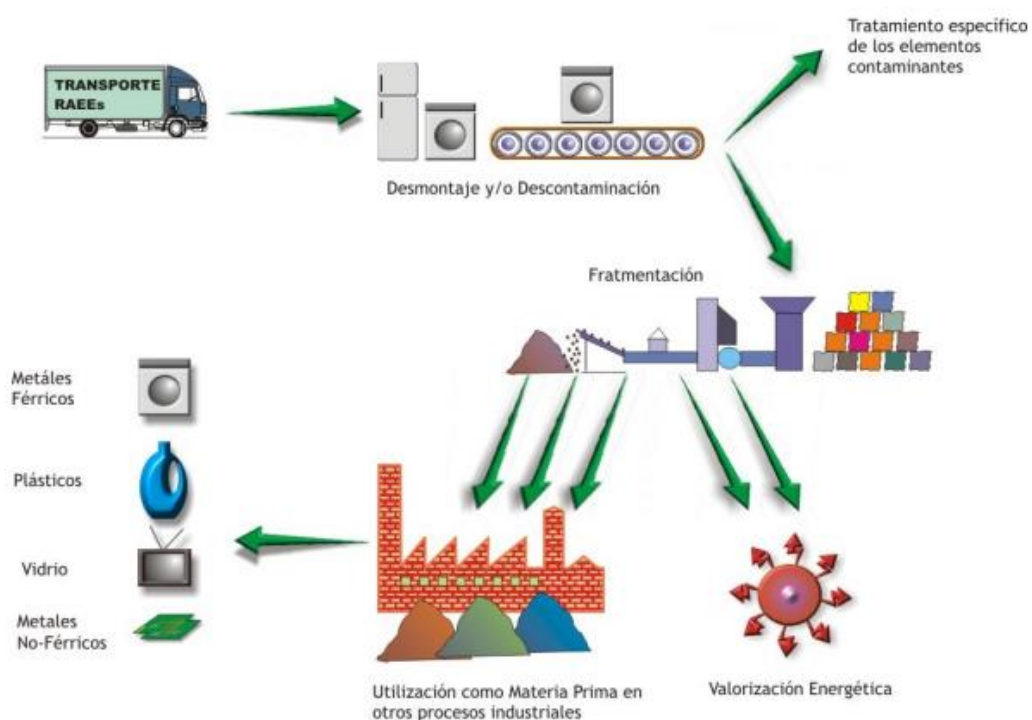


Figura 8. Proceso de reciclaje de RAEE. [Recuperado de: Ecolec Proceso de Reciclaje]

### 3.1. SISTEMAS DE RECOGIDA DE RAEE

Una vez finalizada la vida útil de los AEE hay diferentes vías para entregarlo para su posterior reciclaje. Como indica la figura 9, estas se pueden agrupar en: recogida municipal, recogida comercial y recogida directa [23].

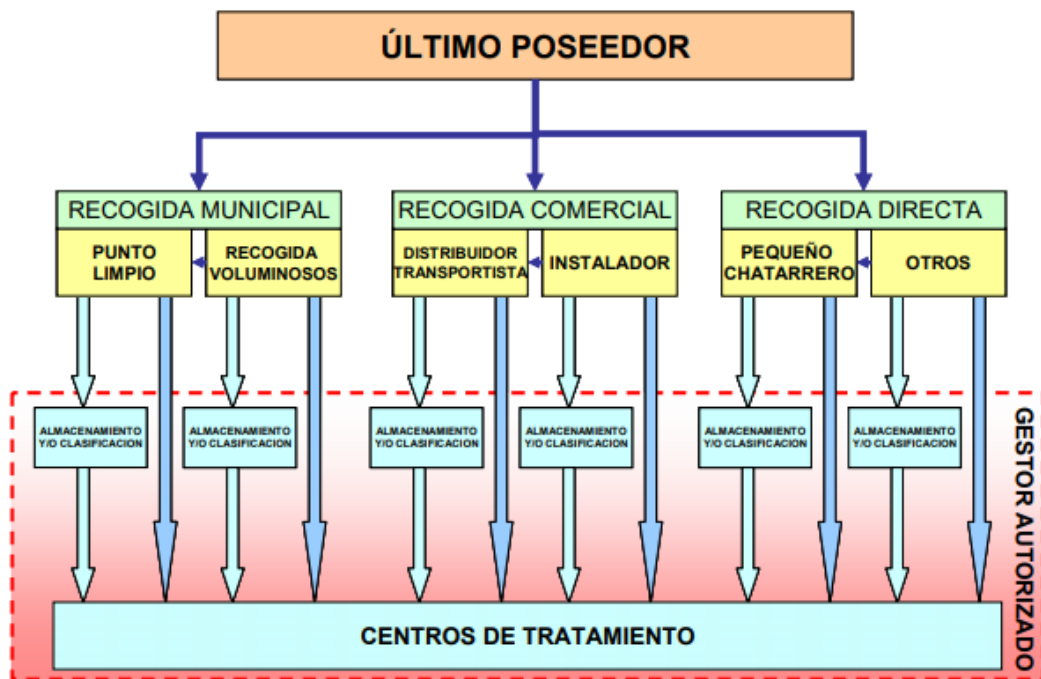


Figura 9. Diagrama de flujo logístico. [Recuperado de: Ecolec Proceso de Reciclaje]

## 1. RECOGIDA MUNICIPAL

El Ayuntamiento de cada municipio establecerá una recogida periódica de AEE, el último poseedor de estos aparatos los deposita junto a los contenedores de recogida municipal o el lugar designado para ello. Los camiones específicos para la recogida municipal se harán cargo de los AEE que han llegado al final de su vida útil.

Dentro de la recogida municipal se incluyen también los aparatos depositados por los usuarios de AEE en los Puntos Limpios, los cuales facilitan la labor de reciclaje del ciudadano. En los Puntos Limpios también se almacenarán normalmente los aparatos descartados procedentes de la recogida municipal. Los AEE desechados se almacenarán temporalmente para después enviarse a plantas de clasificación o tratamiento [23].

## 2. RECOGIDA COMERCIAL

Las lavadoras, frigoríficos, lavavajillas, etc., dentro de los aparatos de línea blanca son los de mayor tamaño, por este motivo en muchos casos son recogidos de los domicilios particulares por los propios distribuidores o transportistas subcontratados por estos cuando realizan la entrega del nuevo aparato adquirido, retiran el aparato sustituido [23].

### 3. RECOGIDA DIRECTA

La recogida directa es la que realizan los pequeños chatarreros y otros agentes que retiran los aparatos que se depositan por los usuarios en zonas no adecuadas para ello, destacando los lugares que por su escasa población no poseen recogidas organizadas [23].

#### 3.2. PROCESO DE TRATAMIENTO DE RAEE

Para realizar un adecuado tratamiento de RAEE sin poner en riesgo la salud humana y el medio ambiente, como mínimo deberán extraerse los componentes, sustancias y preparados de todos los Aparatos Eléctricos y Electrónicos, como Pilas y Acumuladores, Tarjetas de Circuitos Impresos (TCI), Tubos de Rayos Catódicos (TRC), tubos fluorescentes o gases refrigerantes que serán recogidos por gestores adecuados.

Después de la extracción de los componentes anteriores, los aparatos desechados son trasladados hasta las plantas de tratamiento, donde el principal objetivo es la recuperación y reciclado de materiales metálicos, los cuales se separan, clasifican y acondicionan para posteriormente ser suministrados a empresas del sector siderometalúrgico.

De forma general los RAEE que no necesitan un tratamiento exclusivo se someten a los procesos de fragmentación y medios densos, los cuales se describen en los subapartados 3.2.1 y 3.2.2 [23].

##### 3.2.1. FRAGMENTACIÓN

##### ALMACENAMIENTO Y RECEPCIÓN

##### **Entrada de material: Recepción y pesaje**

En las plantas de reciclaje se realiza la recepción, preparación, separación, trituración, clasificación y expedición de los materiales obtenidos finalmente. En el acceso principal de las plantas fragmentadoras hay un sistema que detecta materiales radiactivos (*ver figura 10*) por el cual pasan todos los materiales tanto en la entrada como en la salida. Una vez pasado el control radiológico, se lleva a cabo un pesaje de la mercancía en una báscula para completar el registro administrativo [23].



*Figura 10. Vigilancia radiológica y báscula para el pesaje de mercancía.  
[Recuperado de: Ecolec Proceso de Reciclaje]*

### **Descarga y clasificación**

Una vez realizado el paso anterior, se descarga la mercancía en los lugares habilitados para ello (ver figura 11). Se inspecciona visualmente la mercancía para comprobar que el contenido corresponde con el indicado por el proveedor. También deben asegurarse de que no haya residuos para los cuales no se disponga de autorización. En esta etapa se realiza una primera clasificación del material según la calidad [23].



*Figura 11. Descarga del material de entrada a la planta. [Recuperado de:  
Ecolec Proceso de Reciclaje]*

### **ETAPAS DEL PROCESO DE FRAGMENTACIÓN**

En las plantas fragmentadoras el proceso para la recuperación de los materiales se muestra en la figura 12. Las etapas correspondientes son:

alimentación del material, fragmentación del material, corrientes de aspiración, separación magnética y triaje manual [23].

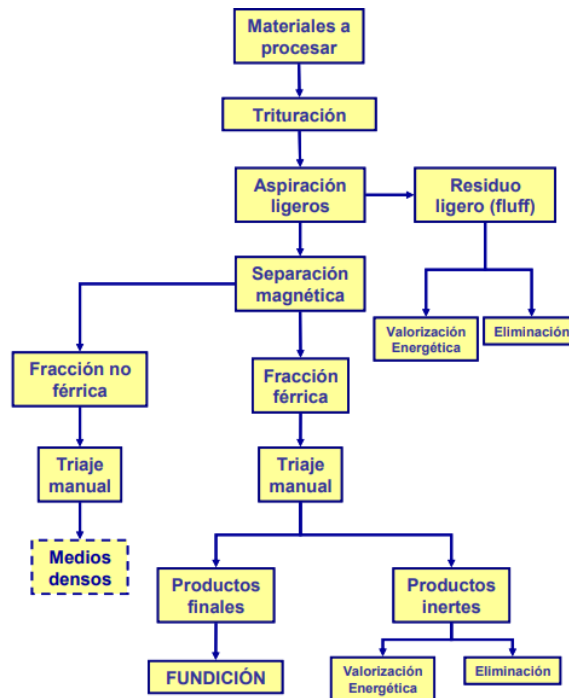


Figura 12. Etapas del proceso de fragmentación. [Recuperado de: Ecolec Proceso de Reciclaje]

### Alimentación del material

La alimentación de material se realiza a través de un dispositivo de carga constituido por una grúa fija con un brazo articulado de largo alcance que dispone de un pulpo hidráulico en su extremo (ver figura 13) [23].



Figura 13. Brazo de grúa con pulpo hidráulico. [Recuperado de: Ecolec Proceso de Reciclaje]

El material se descarga en la boca de entrada de la fragmentadora y una vez posicionado se conduce a la zona de fragmentación. En algunas plantas fragmentadoras existe un pre-fragmentador que realiza una desmembración previa del material sobre todo para materiales que llegan prensados, como por ejemplo vehículos empaquetados, en el caso de los RAEE no sería necesario [23].

### **Fragmentación del material**

Cuando se carga el material, llega a los rodillos que se sitúan delante de la boca del molino fragmentador. Los rodillos atrapan el material y lo van aplastando mientras giran, introduciéndolo en la cámara de fragmentación (ver figura 14) de forma controlada. En el interior de la cámara de fragmentación se encuentra el molino de martillos, cuya función es golpear al material hasta que los trozos tienen un tamaño adecuado como para salir por los huecos que se encuentran en la parte inferior de la cámara. La bandeja vibratoria que se encuentra en las aberturas de salida del molino fragmentador recibe el material fragmentado y lo sitúa en una cinta transportadora que conduce el material hasta la siguiente etapa del proceso [23].



*Figura 14. Molino de martillos situado dentro de la cámara de fragmentación.  
[Recuperado de: Ecolec Proceso de Reciclaje]*

## Corrientes de aspiración

A través de un conducto con forma de zig-zag se produce la separación de los materiales no metálicos ligeros. El golpeo del material contra las paredes del interior del conducto durante su caída produce el desprendimiento de las partículas de material ligero, las cuales pasan al flujo de aire de aspiración que circula en contracorriente. A la salida del conducto se encuentra una bandeja vibratoria que recibe el material fragmentado. El material ligero retirado se deposita en una cinta transportadora que lo conduce hasta el exterior, se denomina Residuo Ligero o Fluff [23].



*Figura 15. Conductos de aspiración de residuo ligero. [Recuperado de: Ecolec Proceso de Reciclaje]*

## Separación magnética

Los metales férricos son separados del resto de material fragmentado mediante un tambor magnético (ver figura 16) en el cual los fragmentos de material férrico son atrapados por el campo magnético del imán que está situado en el interior del tambor. En el giro del tambor estos materiales se depositan en una cinta transportadora a través de la cual son conducidos a la zona de triaje manual. Los materiales no férricos caen en una cinta transportadora que los conduce a la zona de triaje manual o al exterior para su posterior apilamiento, son enviados a una instalación de medios densos para la separación de los materiales que contienen [23].



*Figura 16. Tambor magnético para la separación de metales férricos. [Recuperado de: Ecolec Proceso de Reciclaje]*

### **Triaje manual**

Los elementos no férricos que puedan haber quedado atrapados junto al material férrico son eliminados en los puestos de triaje manual (ver figura 17) [23].



*Figura 17. Puestos de triaje manual. [Recuperado de: Ecolec Proceso de Reciclaje]*

Las fracciones de salida obtenidas son: materiales férricos, materiales no férricos y residuo ligero (Fluff). Los materiales férricos son enviados directamente a la industria siderúrgica para su fusión. Los residuos ligeros normalmente se depositan en un vertedero, aunque en la actualidad se están desarrollando técnicas para su valorización energética. Los materiales no férricos serán enviados normalmente a las instalaciones de medios densos [23].

### **3.2.2. MEDIOS DENSOS**

El proceso de recuperación de materiales en las plantas de medios densos se muestra en la figura 18, son los siguientes: clasificación



granulométrica, lavado y clasificación y separación de materiales. Para la separación de materiales se usan dos tecnologías: medios densos y corrientes inducidas [23].

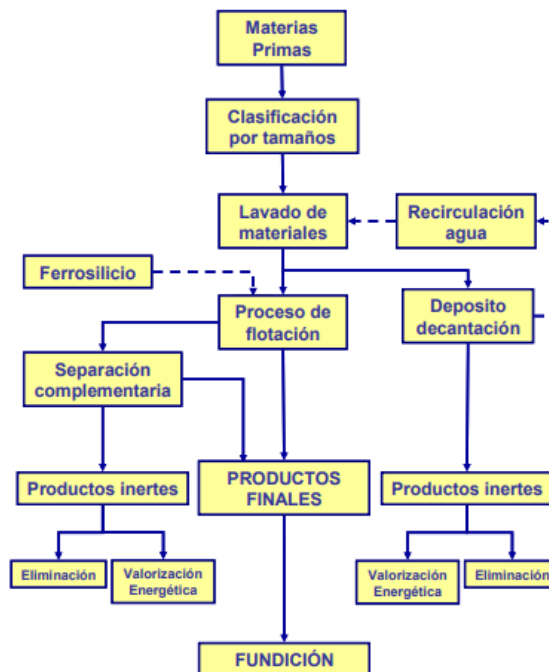


Figura 18. Etapas del proceso de medios densos. [Recuperado de: Ecolec Proceso de Reciclaje]

## **ETAPAS DEL PROCESO DE MEDIOS DENSOS**

### **Clasificación Granulométrica**

Se realiza una clasificación por tamaños de todos los materiales mediante un trómel, compuesto por un cilindro horizontal ligeramente inclinado con perforaciones en sus paredes. El tamaño de las perforaciones va aumentando de tamaño al desplazarnos longitudinalmente hacia el final del cilindro, lo cual permite hacer una clasificación por tamaño de los materiales. Después de esta clasificación los materiales se almacenan de manera separada para continuar con la siguiente etapa del proceso [23].

### **Lavado y clasificación**

El objetivo de esta etapa es la eliminación de cauchos, gomas y plásticos y otros materiales inertes. La separación de los materiales inertes

de los metálicos se realiza mediante una corriente de agua que circula en contracorriente con la alimentación de materiales, con lo que se obtienen dos corrientes, una compuesta por materiales metálicos y otra que contiene cauchos, gomas y materiales de este tipo junto con el agua. La mayor parte del agua es recuperada y reintroducida al proceso. En la salida de la corriente metálica, empleando un tambor magnético, se separan los materiales férricos que no fueron seleccionados en el proceso de fragmentación [23].

### **Separación de los materiales**

Se utilizan dos tecnologías para la separación de los diferentes tipos de metales que se encuentran en la corriente metálica:

- **Medios densos**

Se basa en la diferencia de densidad de los materiales de los que se compone la corriente de alimentación del proceso y el líquido del que se compone. La diferencia de densidades hace que los materiales se separen en dos corrientes de salida, materiales flotados y materiales hundidos. Para realizar la correcta separación, se utiliza una suspensión de ferrosicilio sólido en agua, ajustada a una densidad adecuada para que se produzca una separación correcta [23].

Los **flotados** son los materiales cuya densidad es menor que la del líquido utilizado en el proceso, esta línea se extrae del tambor cilíndrico y se somete a un lavado para eliminar las partículas de ferrosicilio adheridas a la superficie de los materiales. Después del lavado se depositan en una cinta transportadora para su posterior tratamiento o envío a fundición [23].

Los **hundidos** son aquellos que se hunden porque su densidad es mayor que la del líquido utilizado para la separación que en este caso tiene mayor densidad que para los materiales flotados. Al igual que en el caso anterior, estos materiales se extraen para su lavado y se evacúan a través de una cinta transportadora [23].

Todas las operaciones anteriores se realizan a través de un circuito cerrado, por lo tanto, existe una recirculación tanto de agua como de ferrosicilio. Los materiales obtenidos a través de este tratamiento son enviados al proceso de corrientes inducidas en caso de ser necesario [23].

- **Corrientes inducidas**

Mediante la inducción magnética, los materiales metálicos cuando llegan al final de la cinta transportadora se desplazan a un punto más alejado del de descarga de los materiales inertes. Es un proceso complementario para algunas de las fracciones de materiales obtenidas [23].

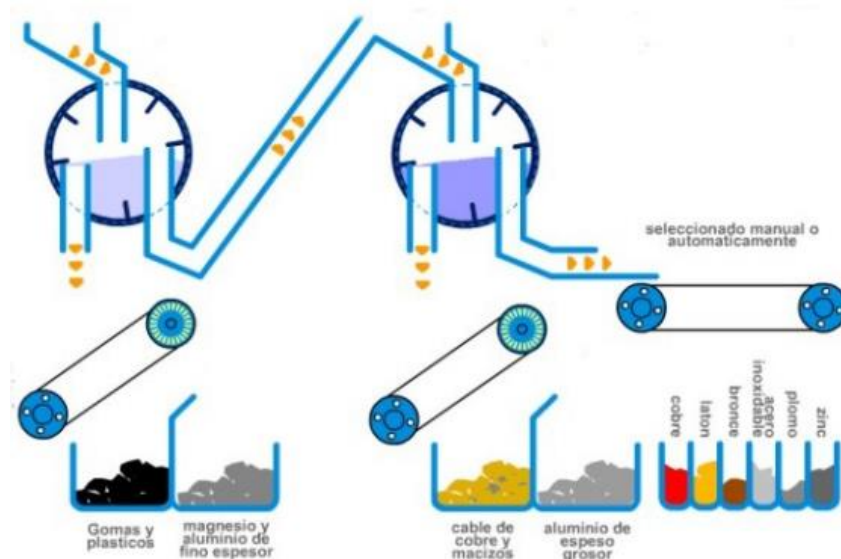


Figura 19. Proceso de medios densos y fracciones de salida del material. [Recuperado de: Ecolec Proceso de Reciclaje]

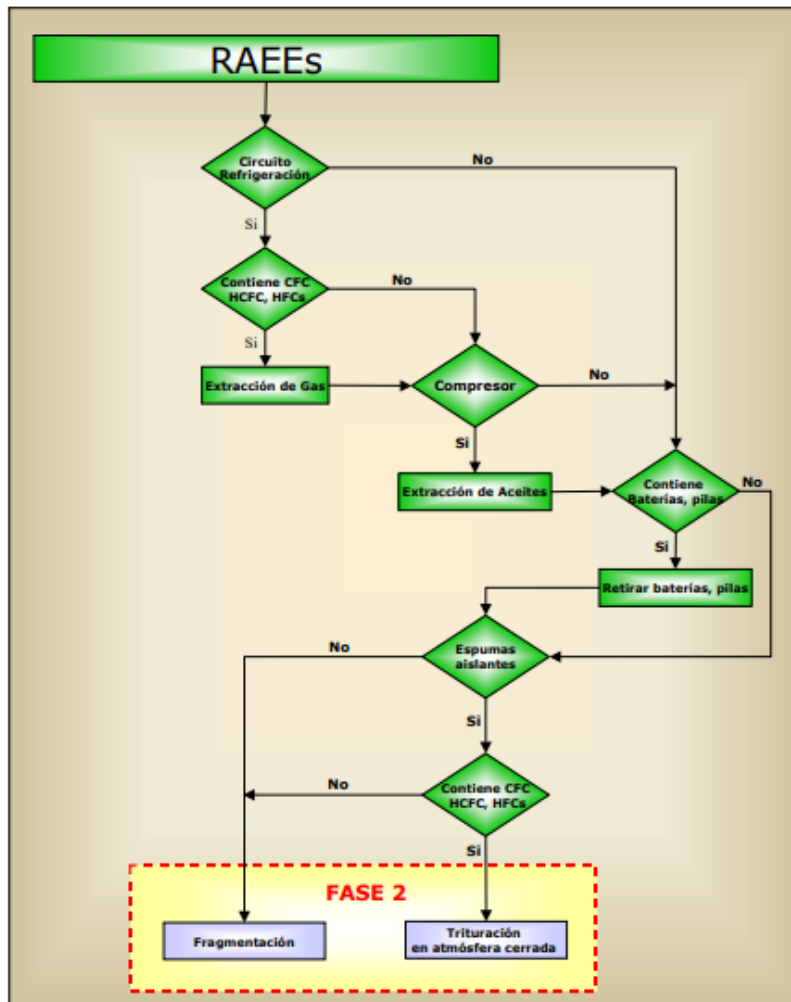
### 3.3. TRATAMIENTOS COMPLEMENTARIOS

Existen RAEE que necesitan un tratamiento complementario ya que contienen sustancias perjudiciales para la salud y el medio ambiente. A continuación, se describen los tratamientos específicos para: equipos que contienen gases, equipos que contienen pantallas, pilas y baterías de potencia, tarjetas de circuito impreso y lámparas y luminarias.

#### 3.3.1. RECICLAJE DE EQUIPOS QUE CONTIENEN GASES

Algunos de los RAEE que reciben tratamiento especializado para equipos que contienen gases son: frigoríficos, congeladores, aires acondicionados o máquinas expendedoras de botellas y latas frías.

En la *figura 20* se muestra el flujo de operaciones previas a la aplicación de los tratamientos descritos en el apartado 3.2. Se aplican a los RAEE que previamente necesitan la extracción de gases, aceites o baterías.



*Figura 20. Flujo de operaciones especiales para RAEE que contienen, gases, aceites o baterías. [Recuperado de: Ecolec Proceso de Reciclaje]*

Los aparatos “*productores de frío*” necesitan un tratamiento previo para la extracción del aceite del compresor o el gas del circuito refrigerador. En esta fase se pueden distinguir dos tipos de aparatos, los que contienen en sus circuitos de refrigeración CFCs, HCFCs, HFCs, es decir gases con un Potencial de Calentamiento Global superior a 15 y los que tienen Potencial de Calentamiento Global inferior a 15, por ejemplo, Ciclopentano, utilizado para espumas aislantes [23].

➤ **Operaciones para realizar en los aparatos con un PCG>15**

1. Extracción controlada del gas contenido en el interior del circuito de refrigeración.
2. Desmontaje del compresor o compresores
3. Extracción del aceite contenido en el compresor.

Entre los aparatos con un PCG>15 están los frigoríficos, congeladores y aparatos de aire acondicionado.

➤ **Operaciones para realizar en los aparatos con un PCG<15**

1. Desmontaje de compresor o compresores
2. Extracción del aceite del compresor

Una vez realizadas estas operaciones, dependiendo del Potencial de Calentamiento Global, los gases y aceites retirados se almacenan adecuadamente para enviarlos a un gestor autorizado [23].

### **3.3.2. RECICLAJE DE EQUIPOS QUE CONTIENEN PANTALLAS**

La rápida evolución tecnológica en el mercado de los televisores y monitores ha desembocado en la sustitución de los antiguos equipos con una tecnología basada en los Tubo de Rayo Catódico (TRC), siendo este su principal componente. Los TRC permiten la visualización de imágenes, constituyen el 50% del peso total de los equipos y están formados principalmente por vidrio y también por materiales como el fósforo o plomo que requieren un tratamiento adecuado cuando son desechados, ya que suponen un peligro para el medio ambiente. El desarrollo de un nuevo tipo de pantalla, llamada LCD, sustituyó la tecnología TRC, debido a su menor consumo y grosor. La pantalla LCD se compone de varias lámparas fluorescentes. Una mejora de la tecnología LCD son los paneles LED, sustituyen las lámparas fluorescentes por diodos LED, son más finas y consumen aún menos. LCD y LED únicamente se diferencian en la emisión de luz.

#### **TRATAMIENTO DE PANTALLAS CON TECNOLOGÍA TRC**

##### **Desensamblado**

Los cables y antenas son separados y almacenados en contenedores diferentes para posteriormente procesarlos y así se reduce el tamaño del

equipo. Después se desmonta la carcasa de plástico, la cual se almacena en un contenedor para su tratamiento [24].

### Separado de componentes

Se separan las placas de circuito impreso, retirando los componentes con alto contenido en cobre, como los transformadores y los grandes condensadores. Son almacenados en contenedores para después ser procesados [24].

### Tratamiento de tubos de rayos catódicos

Los TRC pasan a la línea de limpieza donde una radial corta los anillos metálicos que lo rodean y se pule la superficie del cristal con un cepillo eléctrico de púas metálicas para obtener un cristal limpio y libre de residuos. Con un punzón y un martillo se perfora el vidrio para eliminar el vacío del interior y evitar el riesgo de implosiones. Por último, con una radial se corta el cuello del tubo que contiene el cañón de electrones, los cuales se almacenan por separado para procesarse, ya que contienen zinc [24].

En la siguiente fase separa el vidrio frontal mediante un corte realizado por el operario. La parte trasera del tubo es almacenada en un contenedor, ya que posee un alto contenido en plomo [24].

Las piezas metálicas que se encuentran en el interior del tubo se retiran de forma manual y se procede a retirar el fósforo de la parte frontal del tubo mediante un aspirador que contiene unos filtros que permiten retener dicha sustancia [24]. En la *figura 21* se observan los componentes de un televisor de tecnología de Tubo de Rayo Catódico.



Figura 21. Componentes de un televisor de tecnología de Tubo de Rayo Catódico. [Recuperado de Proyecto Ecovitrum, tratamiento de los Residuos Eléctricos y Electrónicos]

Los metales y plásticos se envían a empresas especializadas para su reciclaje.

## TRATAMIENTO DE PANTALLAS DE CRISTAL LÍQUIDO

Las pantallas de cristal líquido o LCD (Liquid Crystal Display) funcionan mediante una fuente de luz interna, la cual se genera mediante lámparas fluorescentes, proyectada sobre un panel de cristal líquido (ver figura 22).

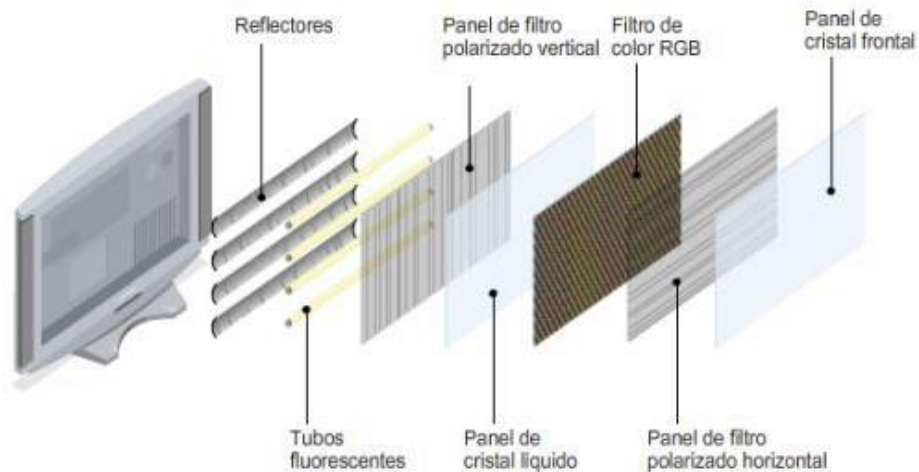


Figura 22. Parte de un televisor LCD. [Recuperado de Xataka. Como funciona un televisor LCD]

Su recogida y almacenamiento debe realizarse de forma separada al resto de residuos electrónicos, debido al contenido de residuos peligrosos, como el mercurio contenido en los tubos fluorescentes que supone un riesgo para el medio ambiente y para la salud de las personas [25].

Cuando estos equipos llegan a las plantas de reciclaje se llevan a cabo los siguientes pasos [25]:

1. Se procede a separar el soporte para obtener una fracción de plástico o metal y las fracciones plásticas traseras y delanteras, las cuales se depositan en contenedores para posteriormente trasladarlas a centros especializados para su tratamiento. El proceso de desmontaje se realiza en atmósferas controladas para vigilar la propagación de aerosoles peligrosos, como los vapores de mercurio contenidos en los tubos fluorescentes.

2. Los tubos fluorescentes que contienen mercurio y otros metales pesados que necesitan un tratamiento específico, se almacenan en contenedores homologados y son transportados a centros de tratamiento de lámparas para su correcto reciclado.
3. Los metales férricos, metales no férricos, plásticos, metacrilato y cristal líquido se almacenan para su envío a gestores autorizados.

### **3.3.3. RECICLAJE Y TRATAMIENTO DE PILAS Y BATERÍAS DE POTENCIA**

Las pilas y baterías son una fuente de energía bastante usada para obtener corriente eléctrica no fija, su reciclaje puede dividirse en dos grandes fases: trituración y tratamientos.

#### **PRIMERA FASE: TRITURACIÓN**

Los residuos de pilas y baterías se someten a un proceso de fragmentación para reducir su tamaño y proceder a la separación de los materiales por los que está compuesta la pila. Se realiza una clasificación de los materiales obtenidos en función de su composición: plásticos, metales férricos y fracciones intermedias que serán tratadas en la siguiente fase [26].

#### **SEGUNDA FASE: TRATAMIENTOS**

En esta fase se obtienen los componentes químicos que forman las baterías, como por ejemplo zinc, magnesio, litio o cadmio. Algunos de estos componentes se vuelven a utilizar en la producción de nuevas pilas y baterías, otros son destinados a siderurgia. Se aplican dos tipos de tratamiento: pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos [26,27].

1. **Pirometalúrgicos:** se realizan temperaturas elevadas para recuperar metales contenidos en las pilas y baterías por su gasificación y posterior depuración y sedimentación.
2. **Hidrometalúrgicos:** la recuperación de los metales se realiza a través de procesos de disolución con aditivos y posterior purificación.

Cuando no es posible realizar estos tratamientos porque no están disponible o por su elevado coste, se aplican técnicas como: estabilización mediante agregado de agentes químicos que forman compuestos insolubles con los metales, confinamiento en envases herméticos, encapsulamiento con



cemento o vitrificación a altas temperaturas [27]. En la *figura 23* se muestran los procesos de reciclado dependiendo del tipo de pila o baterías.

| TIPO DE BATERÍA                                     | PROCESO DE RECICLADO  |
|---|---|
| Pilas alcalinas de manganeso y pilas de cinc-carbón | Son viables tanto procesos hidrometalúrgicos como pirometalúrgicos para recuperar el cinc, el acero y el ferro manganeso o material de relleno para su uso en la industria de la construcción |
| Baterías de níquel-cadmio                           | Se usan los procesos pirometalúrgicos para recuperar el cadmio de pureza del 99.9 % que es reutilizado para elaborar nuevas pilas de Ni-Cd, así como el ferroníquel                           |
| Baterías de níquel metal hidruro                    | Procesado para recuperar el níquel, el hierro y otros metales   |
| Baterías recargables de ión litio                   | Procesado para recuperar el cobalto, el hierro y otros metales  |
| Baterías de plomo-ácido                             | El plomo es recuperado para su reutilización en nuevas pilas  |
| Pilas botón   | Los óxidos de plata usados en relojes son recogidos por joyeros y reciclados para recuperar la plata. Otros tipos pueden ser reciclados para recuperar el mercurio, el cinc y el acero        |

*Figura 23. Procesos de reciclado según el tipo de pila o batería. [Recuperado de: CONAMA10 Congreso Nacional del Medio Ambiente. Posibilidades de tratamiento de residuos de pilas y baterías]*

### 3.3.4. RECICLAJE DE TARJETAS DE CIRCUITOS IMPRESOS

El reciclaje adecuado de Tarjetas de Circuitos Impresos (TCI) contenidas dentro de los dispositivos eléctricos y electrónicos permite recuperar el cobre y los metales ferrosos, pero sobre todo metales preciosos como por ejemplo el oro [28]. La composición de las TCI se muestra en la *tabla 8*.

| Materiales                               | Composición (%) |
|--|-----------------|
| Fibra de Vidrio Polímero (FVP)           | 70              |
| Cobre                                    | 16              |
| Soldadura (Estaño 63%/Plomo 37%)         | 4               |
| Acero                                    | 3               |
| Níquel                                   | 2               |
| Plata                                    | 0.05            |
| Oro                                      | 0.03            |
| Paladio                                  | 0.01            |
| Otros componentes (bismuto, antimonio..) | 0.01            |

*Tabla 8. Composición de las Tarjetas de Circuito Impreso. [ Recuperado de: Artículo. Ecología y Medio Ambiente. Reciclaje. Tecnología de Reciclaje para Tarjetas de Circuitos Impresos]*

El reciclaje de Tarjetas de Circuitos Impresos es muy complejo. Una vez extraídas del aparato del que provengan, la primera operación que se realiza es el separado de los componentes voluminosos que están insertados en ellas, como resistencias, potenciómetros o condensadores. Se debe tener mayor precaución con los relés elaborados con mercurio, con componentes antiguos que contengan amianto o con los acumuladores de Ni-Cd [29].

Después de la extracción de los componentes, se tritura el conjunto para destruir el soporte de plástico, mediante una degradación térmica, para recuperar los metales presentes. Estos se introducen en un horno de crisol (soporta temperaturas muy elevadas) donde se funden y se elimina el contenido no metálico [29].

Por último, se separan los metales mediante procedimientos químicos adecuados. Recuperar metales preciosos es el objetivo que otorga viabilidad al proceso [29].

### **3.3.5. RECICLAJE DE LÁMPARAS Y LUMINARIAS**

En la *figura 24* se muestra el proceso de reciclaje de los residuos de lámparas y luminarias cuando llegan a la planta de reciclaje. Se realiza una separación para poder recuperar los materiales de los que se componen: vidrio, metales, plástico y cantidades pequeñas de mercurio contenidas en la fluorescencia y el bajo consumo [30].

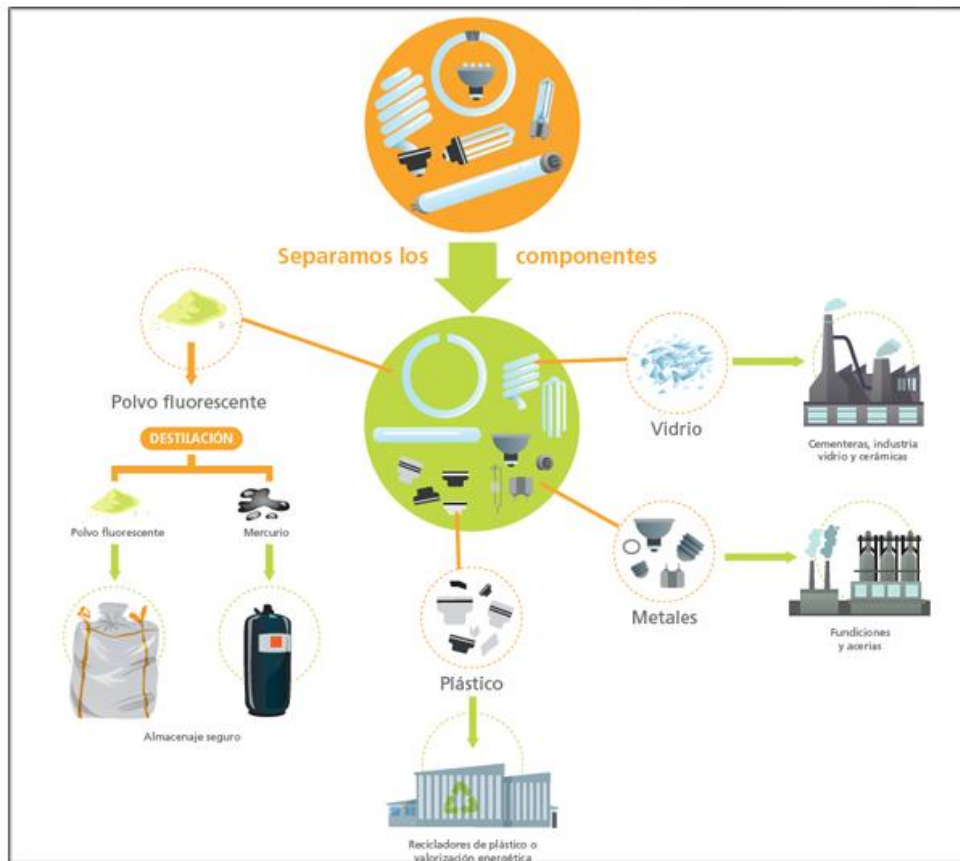


Figura 24. Proceso de reciclaje de lámparas y luminarias cuando llegan a planta de reciclaje. [Recuperado de: ESEeficiencia]

Una vez recuperado el vidrio se utiliza para la fabricación de frascos, asfalto y cerámicas. Los metales son utilizados para la fabricación de objetos metálicos en la industria siderúrgica. El plástico recuperado se destina a la fabricación con plástico reciclado. Las pequeñas cantidades de mercurio que se separan son neutralizadas [30].

## **CAPÍTULO 4. GESTIÓN DEL RECICLAJE DE RAEE**

La generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en la sociedad actual constituye un serio problema ambiental. La gestión inadecuada o el abandono de residuos, contamina las aguas, el aire, favorece el cambio climático y afecta a los ecosistemas y la salud humana. Cuando se gestionan de manera correcta, se contribuye al ahorro de materias primas y al desarrollo sostenible.

Por ejemplo, el plomo y el fósforo de un televisor desechado de forma incorrecta podría contaminar 80 mil litros de agua. Si se reciclasen 500 ordenadores usados, se podrían fabricar 2.000 metros de tubería de cobre. Estos ejemplos hacen ver la importancia de un reciclaje correcto [31].

Las plantas de reciclado son centros de gestión de residuos donde se realiza una recogida separada, se transportan los materiales y se hace un seguimiento de ellos. En las plantas de reciclado también se lleva a cabo el posterior tratamiento de los residuos, la financiación es asumida por los productores a través de los Sistemas Colectivos de Responsabilidad Ampliada del Productor [32].

### **4.1. CERTIFICACIONES DE CALIDAD**

Las certificaciones dejan constancia del esfuerzo de las organizaciones por mejorar su actividad y encaminar su gestión hacia la Economía Circular (capítulo 6). Algunas de las certificaciones de calidad se nombran a continuación.

#### **CERTIFICACIÓN WEEELABEX**

WEEELABEX (Waste from Electrical and Electronic Equipment Label of Excellence), significa etiqueta por excelencia de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y es una organización europea sin ánimo de lucro encargada de realizar auditorías de los procesos de gestión y tratamiento de RAEE. Esta organización promueve que se adopten las medidas necesarias para mejorar estos procesos en las empresas. Su objetivo es conseguir un funcionamiento transparente de todos los Sistemas Colectivos de Responsabilidad Ampliada del Productor (SCRAP) de Europa, estableciendo para todos ellos las mismas normas [33]. Este proyecto está cofinanciado por LIFE [34], programa medioambiental de la Comunidad Europea y gestionado por el WEEE-Forum, la red que reúne a los SCRAP de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que actualmente cuenta con 43 miembros.

La certificación WEEELABEX, es una certificación de excelencia, reconoce las buenas prácticas de las empresas respecto al tratamiento de RAEE [33]. La organización WEEELABEX se estableció en Praga en abril de 2013 [35].

### **CERTIFICACIÓN ISO 9001**

La certificación ISO 9001, referente a calidad, valora el diseño y seguimiento de la estructura de procesos internos enfocados a la mejora continua y la satisfacción del cliente. Se trata de un certificado clave donde aparecen documentados procesos, procedimientos y responsabilidades establecidas para lograr los objetivos y cumplir con las políticas de calidad [36].

### **CERTIFICACIÓN ISO 14001**

La certificación ISO 14001, referente al medioambiente, considera la buena gestión y protección del medioambiente, donde se incluye la prevención y el uso sostenible de los recursos, la disminución del cambio climático y la adaptación y la protección de la biodiversidad y los ecosistemas [36].

## **4.2. SISTEMAS COLECTIVOS DE RESPONSABILIDAD AMPLIADA DEL PRODUCTOR DE RAEE EN ESPAÑA**

La Responsabilidad Ampliada del Productor (RAP) tiene como objetivo la gestión adecuada de un cierto tipo de residuos. Indica el cumplimiento del principio “quien contamina paga”, obligando a los productores a la prevención y a la organización de la gestión de los dispositivos cuando se convierten en residuos. La unión de fabricantes e importadores de AEE da lugar a los Sistemas Colectivos de Responsabilidad Ampliada del Productor (SCRAP) (ver *figura 25*), anteriormente llamados Sistemas de Integración y Gestión (SIG), se gestionan mediante organizaciones sin ánimo de lucro [37].



Figura 25. Funcionamiento Sistema Colectivo de Responsabilidad Ampliada del Productor. [Recuperado de: Stop Basura]

Un SCRAP es una herramienta de gestión que sirve de ayuda para que las empresas paguen por los residuos que introducen en el mercado y no sea el ciudadano quien se haga responsable [37]. Tienen como misión financiar la gestión adecuada de los RAEE, asistir a los fabricantes en sus planes de prevención y minimización de residuos, asegurar que se cumplan los objetivos de reciclado y valorización de residuos, garantizar el control de las diferentes fases por las que pasan los RAEE, asegurar que se dispongan de contenedores para depositar de manera selectiva los RAEE en los puntos de venta y en los puntos establecidos por las entidades locales y financiar campañas para concienciar sobre la adecuada gestión de RAEE [31].

Algunos de los Sistemas Colectivos de Responsabilidad Ampliada del Productor actualmente vigentes creados en virtud de las legislaciones específicas en materia de RAEE se nombran a continuación:

### FUNDACIÓN ECOPILAS

La Fundación Ecopilas es un Sistema Colectivo de Responsabilidad Ampliada del Productor (SCRAP) para gestionar pilas y baterías en todas las Comunidades Autónomas. Fue constituida en el año 2000 por los principales fabricantes e importadores de pilas, con el objetivo de realizar una gestión correcta [38].

Las pilas se depositan en sus contenedores y se trasladan a las plantas de reciclaje donde se clasifican por tipos y formatos para dar el tratamiento específico que corresponda en cada caso [38].

ECOPILAS ofrece una gestión de residuos a través de instalaciones municipales: puntos limpios, establecimientos comerciales e industrias, proporcionando cobertura en todo el territorio. Facilita al ciudadano una red con más de 40.000 puntos donde depositar para su posterior reciclaje pilas y baterías usadas [38].

Por cada tonelada de pilas alcalinas recogida se pueden recuperar más de 300 kilogramos de Zinc y 250 de Hierro y Níquel, con lo que se pueden fabricar nuevos objetos, como por ejemplo nuevas baterías y paneles fotovoltaicos [38].

Los productores tienen la obligación de recoger y reciclar un número de pilas proporcional a las que introducen en el mercado cada año. La legislación establece como objetivo mínimo de recogida desde 2016 alcanzar el 45% del peso, cifra que ha aumentado en 2021 hasta el 50% [38].

Debido al constante crecimiento de la red de recogida de pilas, baterías usadas y la gran concienciación de la ciudadanía, en los últimos años se han recogido 36.652 toneladas de pilas y baterías (ver figura 26).

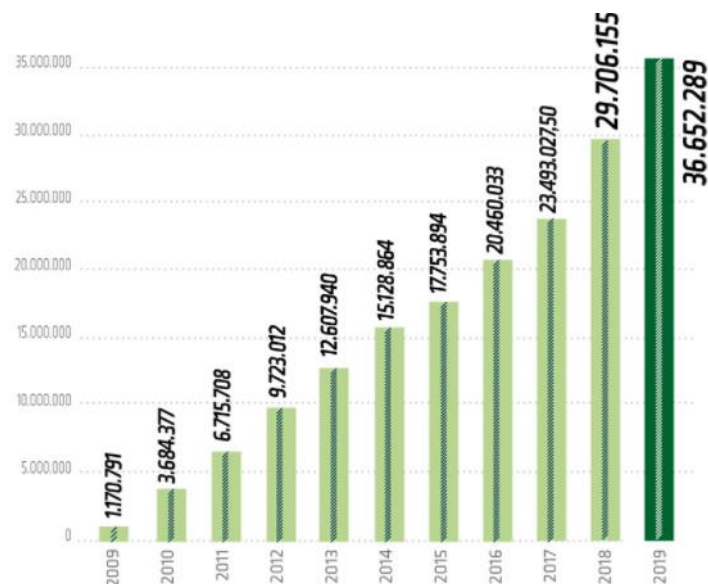


Figura 26. Evolución de toneladas recogidas años 2009-2019. [Recuperado de: Fundación Ecopilas]

## AMBILAMP

Es un Sistema Colectivo de Gestión de Responsabilidad Ampliada del Productor (SCRAP) cuyo objetivo es la recogida y tratamiento de lámparas y luminarias en toda España. Poseen la infraestructura necesaria para el desarrollo del sistema de recogida y tratamiento de residuos de lámparas y luminarias, con un coste adecuado y una gestión sostenible de acuerdo con el resto de los estados miembros de la Unión Europea. Tiene una red de más de 35.000 puntos de recogida distribuidos por toda España [39].

Las lámparas que se reciclan son los fluorescentes, las bombillas de bajo consumo, las de descarga y las bombillas LED, las lámparas de incandescencia y halógenas quedan excluidas. Las luminarias que se reciclan son tanto las de interior como las de exterior, las de emergencia, los rótulos luminosos y las luminarias LED [39].

En el año 2018, Ambilamp recogió 2.616 toneladas de residuos de lámparas y 2.233 toneladas de residuos de luminarias para su posterior reciclaje. En las *figuras 27 y 28* se muestra la evolución anual de la recogida de lámparas y luminarias, respectivamente, en millones de toneladas [30].

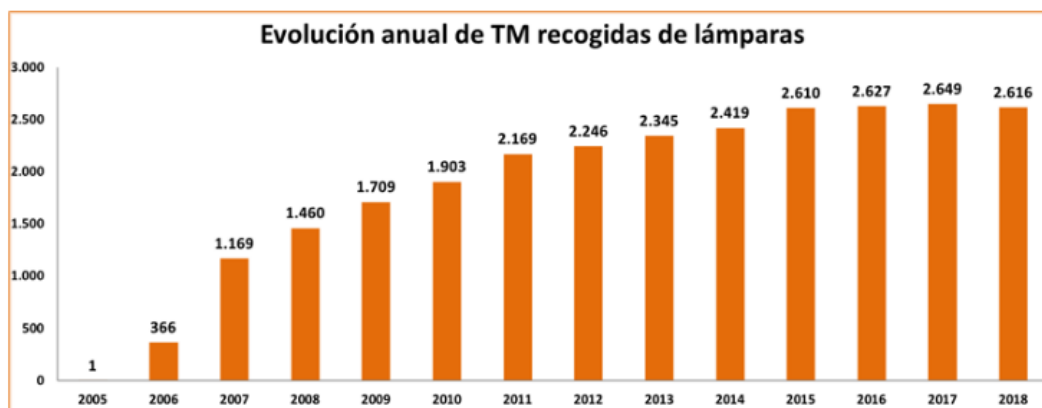


Figura 27. Evolución anual de toneladas de lámparas recogidas desde 2005 (año que fue fundada Ambilamp). [Recuperado de: ESEeficiencia]

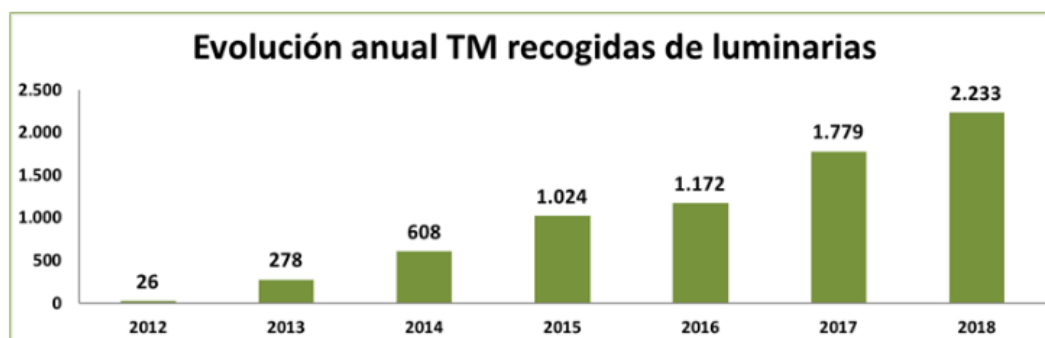




Figura 28. Evolución anual de toneladas de luminarias desde el año 2012.  
[Recuperado de: ESEeficiencia]

## RECILEC

Gestionan residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, buscando minimizar el impacto ambiental en toda su actividad en Andalucía. Suministran los medios necesarios para la recogida y transporte de residuos y basura electrónica adaptándose a las necesidades de cada cliente, disponen de vehículos de diferentes capacidades para adaptarse a esas necesidades, gestionan la documentación necesaria para el traslado del residuo y garantizan el control de su trazabilidad hasta la recepción en su planta de tratamiento. Trabajan con todas las categorías de RAEE [40].

El 8 de julio de 2020 efectivos de la Guardia Civil registraron las instalaciones que la **empresa Recilec** tiene en la localidad sevillana de Aznalcóllar y procedieron a la detención de cinco directivos de ésta. A los detenidos se les imputaban delitos contra el medio ambiente y los recursos naturales, traslado transfronterizo de residuos, contra los derechos de los trabajadores, estafa, falsificación documental, apropiación indebida, administración desleal, además de la posible implicación de uno de ellos en blanqueo de capitales. La *operación denominada "Raecash"* comenzó por la información del Seprona relacionada con traslados transfronterizos de *residuos peligrosos* que procedían de Gibraltar rumbo a la empresa investigada. Falsificaban certificados en los que se aumentaba la cifra de residuos que se habían tratado, por lo cual aumentaban sus beneficios económicos, generando un fraude que supera los dieciséis millones de euros. La empresa investigada en la cual la Agencia de Medio Ambiente y Agua de la Junta de Andalucía mantenía una participación del veinticinco por ciento, abarca la totalidad de los residuos que poseen gases refrigerantes que se generan en toda Andalucía, como frigoríficos, cámaras refrigerantes, aires acondicionados y sobre todo los termos eléctricos, cuyo aislante posee también este gas y en caso de no ser recuperado, se libera directamente a la atmósfera. Los residuos que supuestamente se reciclaban, están reconocidos como muy peligrosos, su emisión es especialmente perjudicial para la capa de ozono y conlleva un riesgo tanto como para el medio ambiente como para la salud de las personas. Según el informe pericial aportado por la Unidad Central de Medio Ambiente de la Guardia Civil, solo la emisión de gases ha podido producir un daño irreparable a la atmósfera valorado en aproximadamente ocho millones de euros [41].



Figura 29. Operación “Raecash” en la empresa sevillana Recilec.  
[Recuperado de: [Guardiacivil.es](http://Guardiacivil.es)]

### EUROPEAN RECYCLING PLATFORM (ERP)

European Recycling Platform (ERP) es el único Sistema Colectivo de Responsabilidad Ampliada del Productor (SCRAP) paneuropeo que trabaja también en España. Llevan a cabo la gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) desde el año 2005 y desde el año 2008 también de pilas y baterías. Su principal objetivo es facilitar a los productores el cumplimiento de la normativa vigente, logrando una economía circular (*capítulo 5*) y construyendo un futuro más sostenible. Cuenta con 2.100 puntos de recogida de RAEE y 10.000 de recogida de pilas y baterías [42].

En 2020 ERP en España recogió y gestionó 24.768 toneladas de RAEE de uso doméstico y 1.083 toneladas de RAEE de uso profesional. En las *tablas 9 y 10* se puede observar la cantidad de Aparatos Eléctricos y Electrónicos puestos en el mercado en 2019 por los productores adheridos a ERP y la cantidad de RAEE de uso doméstico y profesional recogida respectivamente [42].

| AEE (Uso doméstico)              | Puestos en el mercado (toneladas) | Recogidos (toneladas) |
|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Intercambio de temperatura       | 4.129                             | 2.586                 |
| Pantallas                        | 5.801                             | 3.537                 |
| Lámparas                         | 79                                | 6                     |
| Grandes Aparatos                 | 23.789                            | 11.057                |
| Pequeños Aparatos                | 7.250                             | 4.028                 |
| Informática y Telecomunicaciones | 9.682                             | 3.554                 |

*Tabla 9. AEE puestos en el mercado por los productores adheridos a ERP y la cantidad de RAEE de uso doméstico recogidos por ERP en 2020. [Recuperado de: Memoria Anual de ERP España 2019]*

| <b>AEE (Uso Profesional)</b>                                       | <b>Puestos en el mercado (toneladas)</b> | <b>Recogidos (toneladas)</b> |
|--|--|------------------------------|
| <b>Intercambio de temperatura</b>                                  | 1.484                                    | 131                          |
| <b>Pantallas</b>   | 1.654                                    | 5,5                          |
| <b>Grandes Aparatos (Incluye Informática y Telecomunicaciones)</b> | 11.145                                   | 922                          |
| <b>Pequeños Aparatos</b>   | 1.173                                    | 24                           |

*Tabla 10. AEE puestos en el mercado por los productores adheridos a ERP y la cantidad de RAEE de uso profesional recogidos por ERP en 2020. [Recuperado de: Memoria Anual de ERP España 2019]*

Los resultados de las fracciones de recogida siguen en gran parte fuera del control de los SCRAP, como los grandes aparatos y la informática, muy por debajo del objetivo del 65 % (según la Directiva 2012/19/UE) de los AEE puestos en el mercado en 2019 [42].

ERP España recicló en 2019 un total de 2.192 toneladas de materiales de pilas y baterías de las 2.591 toneladas recogidas, lo que supone un 85% del total de residuos gestionados [42].

## CAPÍTULO 5. RECICLAJE DE LAS GRANDES MULTINACIONALES

### 5.1. APPLE

Apple es una de las compañías más ecológicas del mundo. Su principal objetivo es fabricar productos de manera más eficiente, hacerlos duraderos y utilizar solamente material reciclado o renovable. Después cuando sea necesario (ver figura 30), volver a introducir el material reciclado en el mercado para ser utilizado por ellos mismos u otros.

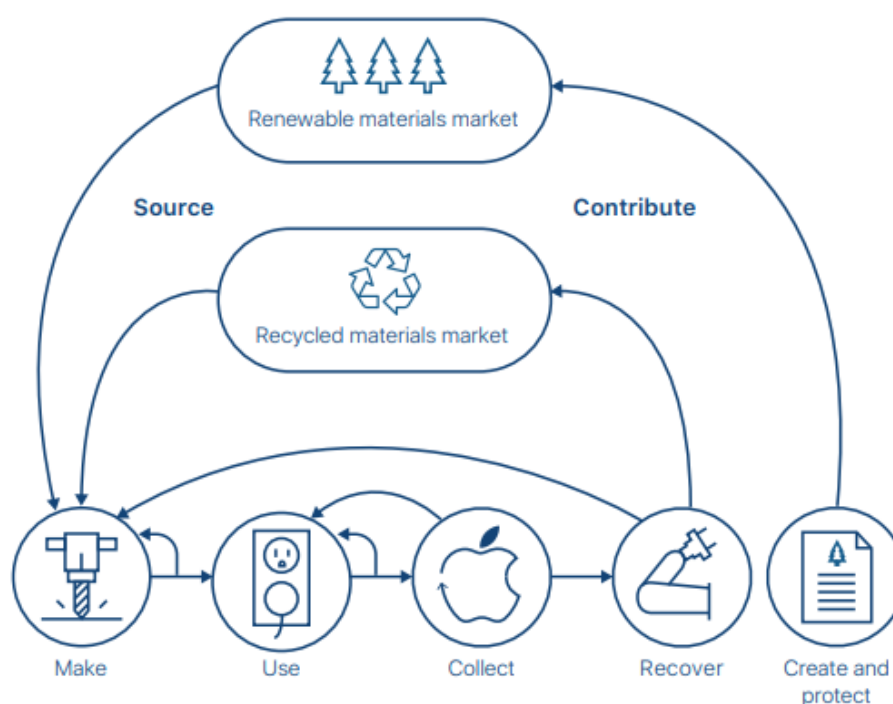


Figura 30. Cadena de suministro circular Apple. [Recuperado de: Material Impact Profiles. Which materials to prioritize for a 100 percent recycled and renewable supply chain]

Mediante el programa 'Apple Trade In' se puede reciclar tu antiguo dispositivo y a la vez ahorrar dinero en la próxima compra. Apple lo califica como un programa de cambio y reciclaje de dispositivos. Cuando se entrega el antiguo, Apple lo otorgará una segunda vida si puede reacondicionarse o seguirá un estricto proceso de reciclaje si no tiene ninguna utilidad [43].

Lo primero para beneficiarse de este programa, es pasar por el proceso de tasación en el que se tendrán en cuenta el estado, el año y el dispositivo para poder. Después Apple manda al domicilio del cliente material de embalaje para preparar el paquete y enviárselo. Contribuir al cuidado del

medio ambiente y el ahorro económico son las razones principales por las que utilizar este programa de reciclaje de dispositivos [43,44].

En el año 2015, Apple recuperó más de 27 millones de Kilogramos de material, valorado aproximadamente 42 millones de euros. En la *tabla 11* se muestra la riqueza recaudada por los materiales recuperados [45].

| Materiales obtenidos | Valor (euros) |
|----------------------|---------------|
| Oro                  | 33 mill.      |
| Aluminio             | 2,6 mill.     |
| Plata                | 1,3 mill.     |
| Níquel               | 133.400       |
| Zinc                 | 91.250        |
| Plomo                | 28.330        |

*Tabla 11. Riqueza recuperada por Apple en el reciclaje. [Recuperado de: ActualidadiPhone. El reciclaje del iPhone es una mina de oro para Apple]*

En el año 2018, Apple estrenó su robot de despiece de dispositivos, *Daisy* (ver *figura 31*). Separa de forma automática las piezas de los iPhones para que puedan ser reciclados, los materiales contenidos en un teléfono móvil se muestran en la *figura 32*. Se trata de una maquinaria de aproximadamente 20 metros en la que los iPhones pasan por diferentes etapas hasta ser desmontados (batería, tornillos ...).



*Figura 31. Robot de desmontaje Daisy. [Recuperado de: La Manzana Mordida. Daisy, el robot con el que Apple quiere ser más ecológica]*

Los componentes que pueden ser reciclados se envían para que se recuperen de ellos los minerales, se refinan y vuelvan a ser utilizados [46,47]. *Daisy* tiene la capacidad de desmontar 200 iPhones por hora, o lo que es lo mismo, un iPhone cada 20 segundos. El objetivo es no depender de la extracción de recursos de la tierra, muy ambicioso y difícil de conseguir [46].



Figura 32. Composición material de un teléfono móvil. [Recuperado de: Eficiencia de recursos. Conservar, utilizar más tiempo y reutilizar]

Se debe fomentar el reciclaje de los componentes para reducir la huella ecológica. Es muy importante que todas las compañías se tomen muy en serio el cambio climático, el problema de contaminación y la mala gestión de residuos [47,48].

## 5.2. SAMSUNG

Samsung Electronics es consciente de los problemas medioambientales de la explotación irresponsable de recursos naturales y su agotamiento en el futuro. Trabajan en la reutilización de recursos a través de la recuperación y reciclaje del producto cuando este llega al final de su vida útil. Tienen como objetivo fabricar productos de alta calidad y duraderos [49].

Quieren adoptar una Economía Circular (ver figura 33) en la que los recursos sean reutilizados constantemente. Samsung Electronics no quiere emplear la técnica habitual que consiste en utilizar los recursos y desecharlos si no recuperar los materiales valiosos de los productos que llegan al final de su ciclo de vida. Con lo anterior se reduce la emisión de gases efecto invernadero y contaminantes provocada por la incineración de los residuos y evita la contaminación de tierras y aguas subterráneas provocada por los vertederos [49].

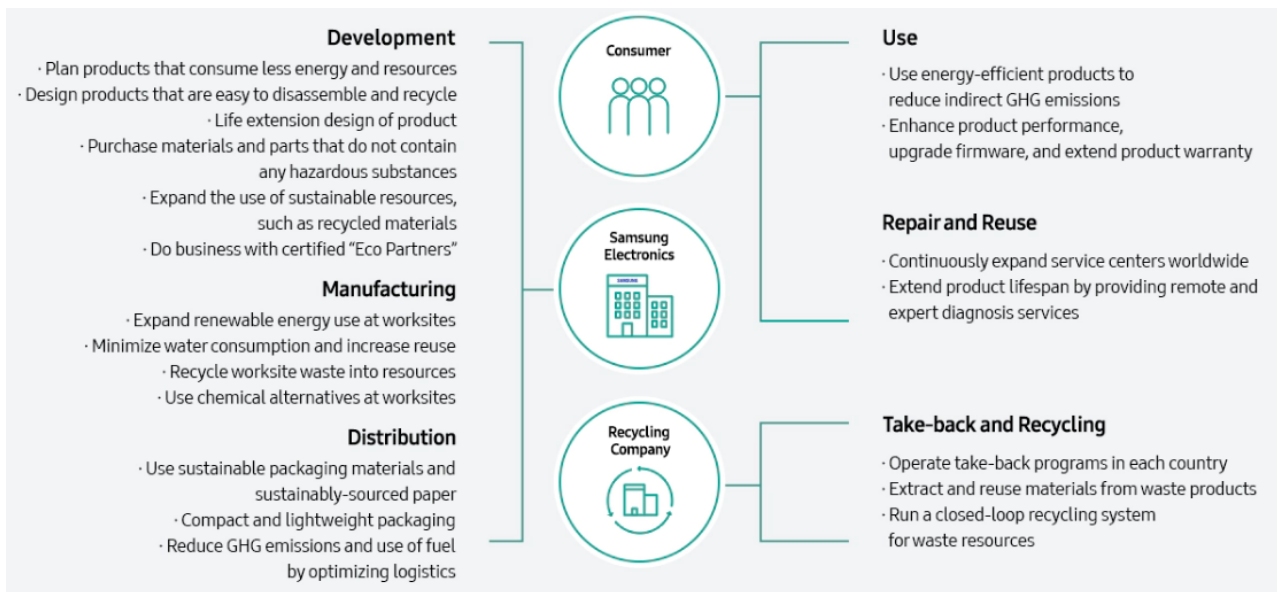


Figura 33. Estructura de economía circular en Samsung Electronics. [Recuperado de: Samsung. Eficiencia de recursos. Conservar, utilizar más tiempo y reutilizar]

La Economía Circular es fundamental para minimizar el desperdicio de recursos, por ello Samsung posee un 'Plan Renove' para la recuperación de residuos electrónicos, los productos que se desechan se envían a sus centros de servicio, son valorados y a cambio se recibe una compensación económica. Entre los años 2009 y 2019 han conseguido recoger un total de 4 millones de toneladas de residuos [49].

Un claro ejemplo de empeño en el reciclaje es el Centro de Reciclaje Asan, creado en el año 1998 y manejado por Samsung. La mayor parte de plásticos que salen de este centro se utilizan para la fabricación de componentes electrónicos. Este centro en el año 2019 procesó 338.000 unidades de frigoríficos, lavadoras, aires acondicionados y dispositivos tecnológicos., de los cuales se obtuvieron 24.524 toneladas de metales principales y plásticos [49].

Las 1.882 toneladas de plástico reciclado producido mediante el sistema de reciclaje en 2019 se usaron en la fabricación de frigoríficos, aires acondicionados y lavadoras Samsung. Por ejemplo, el cobalto reciclado se emplea en la fabricación de baterías de teléfonos móviles y el cobre se separa de los principales componentes para ser empleado en la fabricación de otros componentes electrónicos [49].

### 5.3. MEDIAMARKT

Media Markt es una compañía líder en España y Europa en el sector de electrónica de consumo, comprometida con el correcto reciclaje de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, pilas, bombillas y baterías. En enero de 2021 ha empezado a trabajar con la European Recycling Plataform (ERP) para poder realizar una correcta gestión del reciclaje de los materiales contenidos en los Residuos Eléctricos y Electrónicos [50].

En 2020 Media Markt recogió más de 9.400 toneladas de RAEE y 6,4 toneladas de pilas. En los cuatro primeros meses de 2021 ya se han recogido 2600 toneladas de RAEE. En todas sus tiendas se encuentran contenedores especiales para desechar pequeños aparatos con una dimensión menor de 25 cm, no es necesario adquirir uno nuevo. Cuando se trata de aparatos de mayor tamaño, cuando se realiza una compra de un nuevo producto, se puede solicitar sin coste alguno que retiren el aparato antiguo. Cuando se realiza una compra en la página web se puede solicitar la recogida de aparatos de pequeño y gran tamaño sin coste alguno para el cliente, solo tienes que seleccionar la casilla retirada del antiguo [50].



## **CAPÍTULO 6. PRESENTE Y FUTURO DE LA BASURA ELECTRÓNICA**

Millones de Aparatos Eléctricos y Electrónicos se desechan al mínimo desgaste o tras la llegada al mercado de un nuevo modelo, convirtiéndose en residuos que en multitud de ocasiones terminan en países donde no existe normativa relativa a estos, transformando sus ciudades en vertederos.

Los dispositivos electrónicos deben repararse siempre que sea posible para que puedan ser reutilizados y cuando no sea posible, deben reciclarse para poder recuperar los materiales contenidos en ellos. De esta forma, se evita su acumulación que trae como consecuencia problemas medioambientales y para la salud humana y el agotamiento de los recursos naturales, ya que estos son finitos. Para llevarlo a cabo se debe implantar un modelo de Economía Circular.

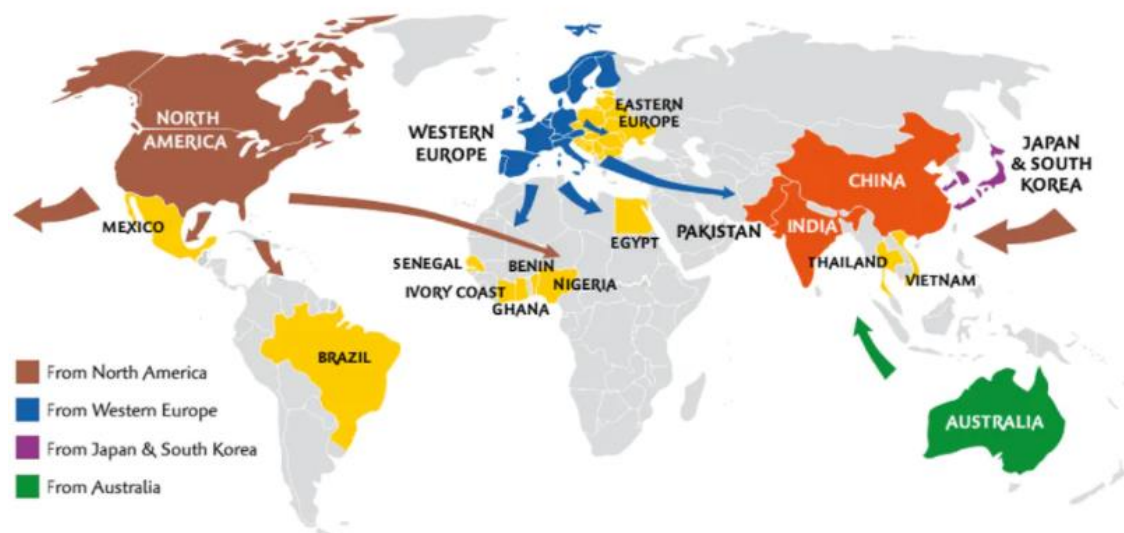
### **6.1. EXPORTACIÓN DE RESIDUOS ELECTRÓNICOS**

Muchos de los residuos electrónicos son exportados a países en vías de desarrollo con el objetivo de reducir la brecha digital, pero la realidad es que entre un 25% y un 75% de los equipos enviados son inservibles y estos países no disponen de las infraestructuras necesarias para tratar los desechos de forma adecuada [51].

El envío de aparatos electrónicos está permitido cuando estos funcionan, pero en la mayoría de las ocasiones solo se trata de chatarra. Un estudio realizado por la Universidad de las Naciones Unidas (UNU) [52], revela que entre los años 2015 y 2016, más de 60 mil toneladas de desechos electrónicos fueron enviadas de manera ilegal a los puertos de Nigeria, la Unión Europea contribuía a esa exportación ilegal con un 77%: Alemania y Reino Unido con un 20% cada uno aproximadamente, precedidos de Bélgica, Países Bajos, España e Irlanda que contribuyeron entre un 6-9 % a la exportación ilegal [53]. Por lo tanto, se incumple 'El Convenio de Basilea', un Acuerdo Multilateral sobre Medio Ambiente adoptado el 22 de marzo de 1989 por 170 países dentro del sistema de Naciones Unidas. Este convenio regula de manera estricta el movimiento transfronterizo de residuos peligrosos. Los desechos eléctricos y electrónicos se consideran desechos peligrosos, ya que suponen un peligro elevado para la salud y para el medio ambiente. Este convenio obliga a todos los países a que la eliminación de los residuos peligrosos se realice de forma racional y lo más cerca posible del lugar donde

fueron generados, minimizando la cantidad de desechos que atraviesan las fronteras [54].

En el año 2018, se realizó el rastreo de 314 dispositivos electrónicos que fueron desechados en lugares especializados o en la vía pública en diez países de la UE. Finalmente, 19 de esos dispositivos (6 %) fueron exportados a África y Asia [55,56]. En la *figura 34* se pueden observar las regiones que exportan residuos electrónicos y las regiones a las que se envían. China, India, Pakistán, Malasia, Tailandia, Filipinas, Vietnam, Ghana y Nigeria reciben el 80% de los residuos electrónicos del mundo [57]. Consecuencia del envío de basura electrónica son los vertederos ilegales de Agbogbloshie (Ghana) y Guiyu, los cuales se describen a continuación.



*Figura 34. Flujo mundial de residuos electrónicos. [Recuperado de: The global impact of e-waste: Addressing the challenge]*

En Agbogbloshie, barrio de Accra (capital de Ghana) se encuentra uno de los vertederos ilegales más grandes del mundo (ver *figura 35*), debido al envío de residuos electrónicos por parte de los países desarrollados. Agbogbloshie es la última oportunidad para el reciclaje, sin importar la salud de sus trabajadores y vecinos. La gente trata toda clase de residuos electrónicos para ganar de 2 a 3 dólares al día. En este barrio de Accra habitan aproximadamente 40.000 personas, en su mayoría son hombres los que se dedican a este negocio, encargados del desmantelamiento de dichos aparatos. Los niños desde los 5 años son enviados por sus padres para

ayudarles económicamente, quemando cables, recolectando trozos de metal o arrastrando carros con desechos electrónicos por 1,5 dólares al día. Los metales recuperados se venden a intermediarios, que a su vez los exportan a China o Emiratos Árabes [58]. La industria de la basura electrónica emplea en Ghana de manera indirecta a 30.000 personas y aporta entre 105 y 268 millones de dólares anuales al país. Este negocio conlleva graves consecuencias para los trabajadores y para el medio ambiente como la contaminación de las aguas subterráneas y del aire provocando la desaparición de la biodiversidad. La exposición de los trabajadores a sustancias tóxicas como el mercurio, retardantes de llama bromados o el cadmio a través de la inhalación de humos, provoca dolores de cabeza, tos, erupciones, quemaduras, enfermedades respiratorias, abortos involuntarios, problemas reproductivos y cánceres [59].



*Figura 35. Vertedero de Agbogbloshie, barrio de Accra, Ghana. [ Recuperado de: Periódico El País]*

Aunque Ghana no posee ninguna ley que regule la importación de residuos electrónicos, si los países desarrollados cumpliesen sus respectivos protocolos, el problema no existiría.

A consecuencia también del envío ilegal de basura electrónica , el pueblo chino de Guiyu, años atrás fue la capital mundial de la basura electrónica. En la *figura 36*, se puede observar una de las calles de Guiyu, en la que reposa toda clase de residuo electrónico. Se estima que aproximadamente 1,6 millones de toneladas de residuos acababan en esta localidad cada año. Daba empleo a 80.000 de los 100.000 residentes aquí y los ingresos ascienden a 480 millones de euros. Hasta el año 2017, Guiyu era el lugar del mundo donde más residuos se reciclaban, incluidos residuos de España [60].



*Figura 36. Calle de Guiyu año 2014. [Recuperado de: El Confidencial. Tecnología. Guiyu, la capital de la basura electrónica se envenena en plomo]*

Pekín comenzó a restringir la importación de basura en el año 2017. A partir de ese momento se prohibía la llegada de 24 tipos de residuos para su reciclaje, entre ellos plásticos, aunque existía la posibilidad de solicitar una excepción. En 2021, esto acaba definitivamente, solo podrán entrar allí materiales reciclados ya procesados en el extranjero [61].

Las políticas adoptadas por China en materia de residuos deben ser un ejemplo para los países subdesarrollados, para que los países del primer mundo no los conviertan en basureros [61].

## **6.2. IMPLANTACIÓN DE UNA ECONOMÍA CIRCULAR**

La Economía Circular es un sistema de aprovechamiento de recursos cuyo fundamento es el uso de las cuatro “R”: Reducir, Reutilizar, Reparar y Reciclar. El objetivo es conseguir un ciclo circular que evite el derroche de los recursos naturales y mantenga su valor durante el mayor tiempo posible, lo que supone un beneficio social y medio ambiental. Como muestra la *figura 37*, la economía circular reaprovecha todos los elementos de manera continua [62].



Figura 37. Economía Circular. Sistema sostenible, reaprovechamiento continuo de las diferentes etapas. [Recuperado de: Fundación Ecolec, Economía Circular]

En los Aparatos Eléctricos y Electrónicos pueden encontrarse metales preciosos como por ejemplo oro, plata, cobre, platino, paladio, rutenio, rodio, iridio u osmio, materias primas críticas como por ejemplo cobalto, paladio, indio, germanio, bismuto o antimonio y metales no críticos como por ejemplo aluminio y hierro. La mina de residuos electrónicos es una fuente importante de suministro de materias primas secundarias, lo cual reduciría la demanda de materiales [22].

La recogida selectiva y el reciclaje de los residuos electrónicos, económicamente es viable, ya que contienen grandes proporciones de metales preciosos. En la *tabla 12*, se observan las materias primas analizadas en el año 2019, correspondientes a 25 millones de toneladas de residuos electrónicos y 47.300 millones de euros. El hierro, el aluminio y el cobre constituyen la mayor parte del peso del total de las materias primas encontradas en los residuos electrónicos. Esta cantidad de residuos solo podría ser recuperada si todos los residuos generados en el mundo se reciclasen. Con la tasa de recogida y reciclaje del 17,4% en 2019, solo se reciclan 4 Mt de materias primas secundarias, correspondientes a 8.300 millones de euros. La recuperación de materias primas secundarias reduce la extracción de materiales vírgenes [22].

| Materias primas | Kt     | Mill.Euros |
|-----------------|--------|------------|
| Plata (Ag)      | 12     | 480        |
| Aluminio (Al)   | 3.046  | 5.031      |
| Oro (Au)        | 0.2    | 7.869      |
| Bismuto (Bi)    | 0.1    | 1,08       |
| Cobalto (Co)    | 13     | 859        |
| Cobre (Cu)      | 1.808  | 9.096      |
| Hierro (Fe)     | 20.466 | 20.455     |
| Germanio (Ge)   | 0,01   | 0,33       |
| Indio (In)      | 0,2    | 14         |
| Iridio (Ir)     | 0,001  | 4,15       |
| Osmio (Os)      | 0,01   | 89,6       |
| Paladio (Pd)    | 0,1    | 2.931      |
| Platino (Pt)    | 0,002  | 58,9       |
| Rodio (Rh)      | 0,01   | 265,6      |
| Rutenio (Ru)    | 0,0003 | 2,5        |
| Antimonio (Sb)  | 76     | 534,5      |

Tabla 12. Valor potencia de las materias primas analizadas en los residuos en el año 2019. [Recuperado de: Observatorio mundial de los residuos electrónicos 2020]

Las sustancias peligrosas también están presentes en los RAEE, debido a la dificultad de reutilización en la normativa se restringe su uso y se sustituyen por materiales más seguros.

## **OBJETIVOS Y VENTAJAS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**

Se pretende conservar el capital natural equilibrando los flujos de recursos renovables, un residuo puede convertirse en un recurso. Los productos que ya no sean útiles para los consumidores pueden volver a reintroducirse en el ciclo económico, se debe fomentar el reciclaje de los materiales que forman parte de los residuos. Si se realizan reparaciones en los dispositivos estropeados, se evita el inicio de un ciclo de producción lineal que termine en residuo, ya que esta producción fomenta el consumo a corto plazo y contribuye al agotamiento de recursos y estos no son infinitos. La energía utilizada en la producción debe provenir de fuentes de energía renovables [63,64].

En la Economía Circular se estudian todos los impactos medioambientales producidos dentro del ciclo de vida de un producto y se buscan soluciones que resulten mejores y más respetuosas con el medio ambiente. La implantación este modelo económico supone un beneficio para la sociedad y para las empresas, ya que reutilizar recursos es mucho más económico que obtenerlos de cero. Apostando por el reciclaje se evita la acumulación de residuos, incentivando el desarrollo de nuevas tecnologías [63,64].

## ECODISEÑO

El Ecodiseño se considera una nueva metodología para el diseño de productos en la que se consideran los impactos ambientales en todas las etapas del proceso de diseño y desarrollo de productos para que causen el menor impacto ambiental posible a lo largo de todo su ciclo de vida. El diseño ecológico es factor fundamental para la reducción de residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, debe estar presente en todas las fases del ciclo de vida de un producto que se puede observar en la *figura 38* [65,66].



*Figura 38. Esquema de las etapas del ciclo de vida de un producto. [Recuperado de: Jose Sierra-Pérez, Manuel Domínguez y María del Mar Espinosa. El ecodiseño en el ámbito de la ingeniería del diseño]*

En la obtención de materias primas, el ecodiseño evita las sustancias peligrosas. En la fase de fabricación, preferentemente se debe utilizar materiales reciclados, disminuyendo la utilización de materias primas vírgenes. En la fase de Producto en uso, el dispositivo debe causar un mínimo impacto ambiental, como por ejemplo bajo consumo de agua, para ser etiquetado como modelo ecológico [66].

El Ecodiseño proporciona garantías de reparación del dispositivo facilitando el desmontaje del AEE. Esto supone un gran beneficio para el medio ambiente, reduciendo la cantidad de residuos generados. Se plantea también el “*autocheking*”, lo que significa que un elemento interno del electrodoméstico detecte el fallo de funcionamiento, facilitando la reparación [66].

El productor debe orientar a la ciudadanía hacia un consumo responsable con ventajas como la etiqueta de eficiencia energética (ver figura 39) que favorece al medio ambiente y al ahorro económico [47].



Figura 39. Etiquetas energéticas. [Recuperado de: Reformas a Medida. Clasificación energética de los electrodomésticos]





## CONCLUSIONES

En este trabajo se ha realizado un estudio de los procesos aplicados a los Aparatos Eléctricos y Electrónicos cuando llegan al final de su vida útil y se convierten en residuos, cumpliendo así con el objetivo principal definido.

Además:

1. Se han mostrado los datos que confirman el aumento del consumo de AEE desde unos años atrás, impulsado por el avance de la tecnología, lo cual supone una elevada generación de residuos electrónicos. Materiales como el oro, el cobre y el hierro están contenidos en dichos residuos, lo que otorga un gran valor económico, por lo cual es aconsejable recuperarlos.
2. Se ha analizado la normativa que establece las medidas para prevenir la generación de residuos que provienen de los AEE tanto a nivel europeo como nacional. Esta normativa es necesaria para realizar una correcta gestión de este tipo de residuos, reduciendo el contenido de sustancias peligrosas en los dispositivos con el objetivo de proteger el medio ambiente y la salud de las personas.
3. Se han detallado los diferentes tratamientos aplicados a los RAEE. Algunos de estos residuos contienen sustancias o componentes considerados peligrosos, como es el caso de las Tarjetas de Circuito Impreso, los TRC, las pilas y baterías, los tubos fluorescentes o los gases refrigerantes, por lo que deben ser sometidos a tratamientos específicos. Los RAEE que no contengan sustancias perjudiciales se someten a los procesos de fragmentación y medios densos para la recuperación y reciclado de los materiales contenidos en ellos. Es de vital importancia garantizar un reciclaje seguro, ya que supone un beneficio para el medio ambiente y la salud de las personas.
4. Se han descrito algunos de los SCRAP encargados de que las empresas que introducen residuos en el mercado paguen por ellos, asegurándose de que cumplan los objetivos de recogida y reciclaje. Es indispensable que la gestión de los RAEE se realice de forma adecuada, ya que si se desechan en vertederos su riqueza se perderá y contribuirán a una mayor contaminación.
5. Se han mostrado algunos ejemplos indicando como las grandes multinacionales ya apuestan por la reutilización y por la recuperación de los materiales que componen los RAEE.
6. Se ha presentado el problema de la exportación ilegal de RAEE por parte de los países desarrollados a países donde no existe una normativa en materia de RAEE. En estos países una gran parte de la

población se dedica a la recuperación de materiales valiosos que componen la basura electrónica, para después venderlos a terceros y así convertir la exportación ilegal en una forma de sustento para muchas familias. Las calles de lugares como Agbogbloshie en Ghana o Guiyu en china están repletas de toda clase de chatarra electrónica, tratada de manera extremadamente peligrosa, lo cual produce daños tanto en la salud humana como en los ecosistemas. Debido a las graves consecuencias que causa la exposición a sustancias tóxicas, China ha prohibido la llegada de estos residuos, lo cual es una excelente decisión, muy beneficiosa tanto para la población como para el medio ambiente. Para evitar la generación descontrolada de RAEE y su exportación a países subdesarrollados, debe implantarse un modelo de Economía Circular, cuyo fundamento es reducir, reutilizar, reparar y reciclar.

7. Finalmente, también se ha presentado la Economía Circular como una alternativa para el aprovechamiento y reutilización de los AEE, contribuyendo al desarrollo sostenible.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Baldé, C.P., Forti V., Gray, V., Kuehr, R., Stegmann, P.: *Observatorio Mundial de los Residuos Electrónicos – 2017*, Universidad de las Naciones Unidas (UNU), Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA), Bonn/Ginebra/Viena. Consulta 18 de abril de 2021. Recuperado de [http://collections.unu.edu/eserv/UNU:6341/GEM\\_2017-S.pdf](http://collections.unu.edu/eserv/UNU:6341/GEM_2017-S.pdf)

[2] I Informe anual Recyclia. *Tendencias en la industria del reciclaje de RAEE y pilas en España*. Consulta 24 de marzo de 2021. Recuperado de <https://www.recyclia.es/2020/INFORME-RECYCLIA.pdf>

[3] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Materiales y componentes de los RAEE*. Consulta 18 de abril de 2021. Recuperado de: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/aparatos-electr/electricos-y-electronicos-materiales-y-componentes.aspx>

[4] Diario Oficial de la Unión Europea. *Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de julio de 2012 sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)*. Consulta 20 de enero de 2021. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019&from=SK>

[5] Observatorio mundial de los residuos electrónicos 2020. Cantidades, flujos y potencial de la economía circular. Consulta 23 de marzo de 2021. Recuperado de <file:///C:/Users/teres/Downloads/ES%20-%20Global%20E-waste%20Monitor%202020.pdf>

[6] Diario Oficial de la Unión Europea. *Directiva 2002/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de enero de 2003 sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)*. Consulta 20 de enero de 2021. Recuperado de <https://www.boe.es/doue/2003/037/L00024-00039.pdf>

[7] Diario Oficial de la Unión Europea. *Directiva 2002/95/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de enero de 2003 sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos*. Consulta 14 de abril de 2021. Recuperado de <https://www.boe.es/doue/2003/037/L00019-00023.pdf>

[8] Diario Oficial de la Unión Europea. *Decisión de la Comisión de 18 de agosto de 2005 por la que se modifica la Directiva 2002/95/1ce del Parlamento Europeo y del Consejo con objeto de establecer los valores máximos de concentración de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos*. Consulta 14 de abril de 2021. Recuperado de <https://www.boe.es/doue/2005/214/L00065-00065.pdf>

[9] Diario Oficial de la Unión Europea. *Directiva 2011/65/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 8 de junio de 2011 sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos*. Consulta 14 de abril de 2021. Recuperado de <https://www.boe.es/doue/2011/174/L00088-00110.pdf>

[10] Diario Oficial de la Unión Europea. *Directiva delegada (UE) 2015/863 de la Comisión de marzo de 2015 por la que se modifica el anexo II de la Directiva 2011/65/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en cuanto a la lista de sustancias restringidas*. Consulta 14 de abril de 2021. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0863&from=ES>

[11] Boletín Oficial del Estado. *Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono*. Consulta 17 de abril de 2021. Recuperado de <https://www.boe.es/boe/dias/1989/03/17/pdfs/A07462-07466.pdf>

[12] Diario Oficial de la Unión Europea. Reglamento (CE) nº 1005/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de septiembre de 2009 sobre las sustancias que agotan la capa de ozono. Consulta 14 de abril de 2021. Recuperado de <https://www.boe.es/doue/2009/286/L00001-00030.pdf>

[13] Ecologistas en acción. *Protocolo de Montreal, contaminación*. Consulta 17 de abril de 2021. Recuperado de <https://www.ecologistasenaccion.org/205/protocolo-de-montreal/>

[14] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Real Decreto nº 1907/2006, REACH, Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de sustancias y mezclas químicas. Consulta 18 de abril de 2021. Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/productos-quimicos/reglamento-reach/>

[15] Diario Oficial de la Unión Europea. *Directiva 2006/66/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 6 de septiembre de 2006 relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de las pilas y acumuladores y por la que se*

deroga la Directiva 91/157/CEE. Consulta 21 de enero de 2021. Recuperado de <https://www.boe.es/doue/2006/266/L00001-00014.pdf>

[16] Diario Oficial de la Unión Europea. *Directiva 2013/56/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de noviembre de 2013 por la que se modifica la Directiva 2006/66/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores, por lo que respecta a la puesta en el mercado de pilas y acumuladores portátiles que contengan cadmio, destinados a utilizarse en herramientas eléctricas inalámbricas, y de pilas botón con un bajo contenido de mercurio, y se deroga la Decisión 2009/603/CE de la Comisión.* Consulta 14 de abril de 2021. Recuperado de <https://www.boe.es/doue/2013/329/L00005-00009.pdf>

[17] Diario Oficial de las Comunidades Europeas. Decisión de la Comisión de 3 de mayo de 2000 que sustituye a la Decisión 94/3/CE por la que se establece una lista de residuos de conformidad con la letra a) del artículo 1 de la Directiva 75/442/CEE del Consejo relativa a los residuos y a la Decisión 94/904/CE del Consejo por la que se establece una lista de residuos peligrosos en virtud del apartado 4 del artículo 1 de la Directiva 91/689/CEE del Consejo relativa a los residuos peligroso

[18] Boletín Oficial del Estado. *Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.* Consulta 04 de marzo de 2021. Recuperado de <https://www.boe.es/boe/dias/2015/02/21/pdfs/BOE-A-2015-1762.pdf>

[19] Boletín Oficial del Estado. *Real Decreto 208/2005, de 25 de febrero, sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos.* Consulta 12 de marzo de 2021. Recuperado de <https://www.boe.es/buscar/pdf/2005/BOE-A-2005-3242-consolidado.pdf>

[20] Boletín Oficial del Estado. *Real Decreto 106/2008, de 1 febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos.* Consultado 21 de marzo de 2021. Recuperado de <https://www.boe.es/buscar/pdf/2008/BOE-A-2008-2387-consolidado.pdf>

[21] Boletín Oficial del Estado. *Real Decreto 219/2013 de 22 de marzo sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.* Consulta 18 de abril de 2021. Recuperado de <https://www.boe.es/boe/dias/2013/03/23/pdfs/BOE-A-2013-3210.pdf>

[22] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. *Oportunidades de creación de empleo en la mejora de gestión de RAEE.* Consulta 21 de

marzo de 2021. Recuperado de <https://www.empleaverde.es/sites/default/files/publicaciones/creacion-empleo-raee.pdf>

[23] Fundación Ecolec. *Reciclaje Electrónico y gestión de RAEE*. Consultado 01 de abril de 2021. Recuperado de <https://www.ecolec.es/wp-content/uploads/2017/06/Ecolec-Proceso-de-reciclaje.pdf>

[24] ECOVITRUM. *Proyecto Ecovitrum, iniciativa en Europa para el tratamiento de los residuos eléctricos y electrónicos*. Consulta 20 de abril de 2021. Recuperado de <https://silo.tips/download/proyecto-ecovitrum-una-iniciativa-novedosa-en-europa-para-el-tratamiento-de-los>

[25] Punto Limpio. *Como se reciclan las pantallas de cristal líquido*. Consulta 13 de mayo de 2021. Recuperado de <https://punto-limpio.info/como-se-reciclan-los-raee/pantallas-cristal-liquido/>

[26] ECOPILAS. *Procesos de reciclaje*. Consulta 26 de abril de 2021. Recuperado de <https://www.ecopilas.es/el-reciclaje/procesos-de-reciclaje-de-pilas/>

[27] Canales sectoriales. *Posibilidades en el tratamiento de residuos de pilas y baterías*. Consulta 26 de abril de 2021. Recuperado de <https://www.interempresas.net/Reciclaje/Articulos/58972-Posibilidades-en-el-tratamiento-de-residuos-de-pilas-y-baterias.html>

[28] Artigoo. *Ecología y Medio Ambiente. Reciclaje. Tecnología de Reciclaje para Tarjetas de Circuitos Impresos*. Consulta 30 de abril de 2021. Recuperado de <http://artigoo.com/tecnologia-de-reciclaje-para-tarjetas-de-circuitos-impresos-i>

[29] Xavier Elias Castells. *Reciclaje y Tratamiento de Residuos Diversos*. Consulta 05 de abril de 2021. <https://elibro-net.ponton.uva.es/es/ereader/uva/626267>

[30] ESEficiencia. *Ambilamp recicla la bombilla 200 millones y alcanza las 23.000 toneladas de material recuperado*. Consulta 15 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.eseficiencia.es/2019/03/28/ambilamp-recicla-bombilla-200-millones-alcanza-23000-toneladas-material-recuperado>

[31] RAEE Andalucía. Consulta 01 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.raeeandalucia.es/conecta/toma-conciencia>

[32] FUNDACIÓN ECOLEC. *Quienes son los gestores de residuos*. Consulta 01 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.ecolec.es/gestores-de-residuos/quienes-son-los-gestores-de-residuos/>

[33] WEELABEX. *Certificado WEELABEX*. Consulta 02 de mayo 2021. Recuperado de [https://www.lyrsa.es/que-es-el-certificado-weelabex/#:~:text=WEEELABEX%20\(WEEE%20Label%20of%20Experience,d%20aparatos%20el%C3%A9ctricos%20y%20electr%C3%B3nicos%E2%80%9D.&text=Esta%20certificaci%C3%B3n%20de%20excelencia%20reconoce,los%20residuos%20el%C3%A9ctricos%20y%20electr%C3%B3nicos.](https://www.lyrsa.es/que-es-el-certificado-weelabex/#:~:text=WEEELABEX%20(WEEE%20Label%20of%20Experience,d%20aparatos%20el%C3%A9ctricos%20y%20electr%C3%B3nicos%E2%80%9D.&text=Esta%20certificaci%C3%B3n%20de%20excelencia%20reconoce,los%20residuos%20el%C3%A9ctricos%20y%20electr%C3%B3nicos.)

[34] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Programa LIFE de la Unión Europea*. Consulta 02 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/servicios/ayudas-subsenciones/programa-life/que-es-life/>

[35] WEE-FORUM. *Normas armonizadas en el tratamiento y reciclaje de RAEE*. Consulta 02 de mayo de 2021. Recuperado de <https://weee-forum.org/projects-campaigns/weee-labex/>

[36] Fundación Eco-Raee's. *Certificados según las normas ISO 9001 e ISO 14001*. Consulta 15 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.eco-raee.com/fundacion-eco-raees-renueva-con-exito-sus-certificados-segun-las-normas-iso-9001-e-iso-14001/>

[37] Fundación Ecolec. *Responsabilidad Ampliada del Productor*. Consulta 15 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.ecolec.es/productores/responsabilidad-ampliada-del-productor/#4>

[38] *Fundación Ecopilas*. Consulta 02 de mayo 2021. Recuperado de <https://www.ecopilas.es/quienes-somos/>

[39] ESEficientia. *AMBILAMP*. Consulta 15 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.eseficiencia.es/empresas/ambilamp>

[40] *RECILEC*. Consulta 03 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.recilec.com/>

[41] ABC Andalucía. *“Directivos de Recilec habrían cometido hasta siete delitos por el falso reciclaje de aparatos eléctricos”*. Consulta 01 de abril de 2021. Recuperado de [https://sevilla.abc.es/andalucia/sevi-directivos-recilec-habrian-cometido-hasta-siete-delitos-falso-reciclaje-aparatos-electricos-202007142309\\_noticia.html?ref=https:%2F%2Fwww.google.com%2F](https://sevilla.abc.es/andalucia/sevi-directivos-recilec-habrian-cometido-hasta-siete-delitos-falso-reciclaje-aparatos-electricos-202007142309_noticia.html?ref=https:%2F%2Fwww.google.com%2F)



[42] European Recycling Platform. *Memoria Anual de ERP España 2019*. Consulta 23 de mayo de 2021. Recuperado de <https://erp-recycling.org/es-es/wp-content/uploads/sites/14/2020/09/ERP-ESPAN%CC%83OL-270820-OK-HR.pdf.pdf>

[43] Macworld. *Apple Trade In: la mejor forma de reciclar y ahorrar dinero con Apple*. Consulta 05 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.macworld.es/articulos/apple/apple-trade-in-3790605/#toc-3790605-1>

[44] Material Impact Profiles. *Which materials to prioritize for a 100 percent recycled and renewable supply chain*. Consulta 05 de mayo de 2021. Recuperado de [https://www.apple.com/environment/pdf/Apple\\_Material\\_Impact\\_Profiles\\_April2019.pdf](https://www.apple.com/environment/pdf/Apple_Material_Impact_Profiles_April2019.pdf)

[45] ActualidadiPhone. *El reciclaje del iPhone es una mina de oro para Apple*. Consulta 05 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.actualidadiphone.com/reciclaje-del-iphone-una-mina-oro-apple/>

[46] Youtube. *Apple introduces Daisy, a new robot that disassembles iPhone to recover valuable materials*. Consulta de 05 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=2Bu-gl7v-P8&t=10s>

[47] APPLESFERA. *Cómo funciona Daisy, el robot de reciclaje de Apple*. Consulta 05 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.applesfera.com/apple-1/como-funciona-daisy-robot-reciclaje-apple-nuevo-informe-desvela-detalles>

[48] La Manzana Mordida. *Daisy, el robot con el que Apple quiere ser más ecológica*. Consulta 05 de mayo de 2021. Recuperado de <https://lamanzanamordida.net/noticias/apple/daisy-robot-reciclaje-iphone/>

[49] Samsung. *Eficiencia de recursos. Conservar, utilizar más tiempo y reutilizar*. Consulta 06 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.samsung.com/es/aboutsamsung/sustainability/environment/resource-efficiency/>

[50] ELECTROIMAGEN. *MediaMarkt gestionó más de 9.400 toneladas de RAEE en 2020*. Consulta 23 de mayo de 2021. Recuperado de <http://electroimagen.com/articulo/mediamarkt-gestiono-mas-de-9400-toneladas-de-raee-en-2020>

[51] MediaMarkt. *La importancia del RAEE en MediaMarkt*. Consulta 23 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.medimarkt.es/static/pdf/P%C3%ADdoraRAEEWeb.pdf>

[52] Sostenibilidad. *Obsolescencia programada: El grave problema de la basura electrónica*. Consulta 24 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.sostenibilidad.com/medio-ambiente/obsolescencia-programada-el-grave-problema-de-la-basura-electronica/>

[53] United Nations University. *Assessing Importo of used electrical and electronic equipment in to Nigeria*. Consulta 28 de abril de 2021. Recuperado de [collections.unu.edu/eserv/UNU:6349/PiP\\_Report.pdf](collections.unu.edu/eserv/UNU:6349/PiP_Report.pdf)

[54] La Vanguardia. *Basura tecnológica. Cómo los desechos electrónicos ‘desaparecen’ de forma ilegal*. Consulta 28 de abril de 2021. Recuperado de <https://www.lavanguardia.com/tecnologia/20190413/461580102809/desechos-electronicos-basura-tecnologica-raee-e-waste.html>

[55] Gobierno de Guatemala. Dr. Alejandro Giammattei. *Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Convenio de Basilea*. Consulta 28 de abril de 2021. Recuperado de <https://www.marn.gob.gt/s/convenio-basilea>

[56] Basel Action Network. *Holes in the Circular Economy: WEEE Leakage from Europe*. Consulta 28 de abril de 2021. Recuperado de [Holes in the Circular Economy- WEEE Leakage from Europe.pdf \(ban.org\)](Holes in the Circular Economy- WEEE Leakage from Europe.pdf (ban.org))

[57] The Conversation. *Exportar residuos electrónicos es incompatible con la economía circular*. Consulta 28 de abril de 2021. Recuperado de [Exportar residuos electrónicos es incompatible con la economía circular \(theconversation.com\)](Exportar residuos electrónicos es incompatible con la economía circular (theconversation.com))

[58] El País. *Las huellas de la basura tecnológica acaban en la sangre de los habitantes de África*. Consultado 30 de abril de 2021. Recuperado de [https://elpais.com/elpais/2018/11/14/ciencia/1542193341\\_918105.html](https://elpais.com/elpais/2018/11/14/ciencia/1542193341_918105.html)

[59] Internacional. *El vertedero tecnológico*. Consulta 30 de abril de 2021. Recuperado de <https://www.elperiodico.com/es/internacional/20150227/el-vertedero-tecnologico-3978096>

[60] Euronews. *Los residuos electrónicos terminan en uno de los mayores vertederos de África*. Consulta 30 de abril de 2021. Recuperado de <https://es.euronews.com/2019/07/30/los-residuos-electronicos-europeos-terminan-en-uno-de-los-mayores-vertederos-de-africa>

[61] El Confidencial. Tecnología. *Guiyu, la capital mundial de la basura electrónica se envenena en plomo*. Consulta 07 de mayo de 2021. Recuperado de [https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2014-12-02/guiyu-la-capital-mundial-de-la-basura-electronica-se-envenena-en-plomo\\_513174/](https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2014-12-02/guiyu-la-capital-mundial-de-la-basura-electronica-se-envenena-en-plomo_513174/)

[62] La Vanguardia. *China ya no quiere nuestra basura*. Consulta 07 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.lavanguardia.com/internacional/20210101/6160429/china-reciclaje-residuos-electronica-occidente.html>

[63] Fundación Ecolec. *Economía Circular, claves para entender el modelo que está revolucionando la sostenibilidad*. Consulta 21 de abril de 2021. Recuperado de <https://www.ecolec.es/informacion-y-recursos/economia-circular/#1>

[64] Emilio Cerdá. *Economía Circular, Estrategia y Competitividad Empresarial*. Consulta de 04 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/401/CERD%C3%81%20y%20KHALILOVA.pdf>

[65] FUNDACIÓN ECOLEC. *Economía Circular: claves para entender el modelo que está revolucionando la sostenibilidad*. Consulta de 04 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.ecolec.es/informacion-y-recursos/economia-circular/#3>

[66] Jose Sierra-Pérez, Manuel Domínguez y María del Mar Espinosa. *El ecodiseño en el ámbito de la ingeniería del diseño*. Consulta 04 de mayo de 2021. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Sierra-Perez/publication/274310530\\_El\\_ecodiseño\\_en\\_el\\_ámbito\\_de\\_la\\_ingeniería\\_del\\_diseño\\_Ecodesign\\_in\\_design\\_engineering/links/55f303c408ae63926cf0eed7/El-ecodiseño-en-el-ámbito-de-la-ingeniería-del-diseño-Ecodesign-in-design-engineering.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Sierra-Perez/publication/274310530_El_ecodiseño_en_el_ámbito_de_la_ingeniería_del_diseño_Ecodesign_in_design_engineering/links/55f303c408ae63926cf0eed7/El-ecodiseño-en-el-ámbito-de-la-ingeniería-del-diseño-Ecodesign-in-design-engineering.pdf)

[67] RAEE Andalucía. *El ecodiseño como herramienta vital y eficiente en la prevención de RAEE*. Consulta 04 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.raeeandalucia.es/actualidad/ecodiseño-como-herramienta-vital-en-prevención-residuos-electronicos#:~:text=El%20ecodise%C3%B1o%20como%20herramienta%20vital%20y%20eficiente%20en%20la%20prevenci%C3%B3n%20de%20RAEE,-Uno%20de%20los&text=Esta%20etiqueta%20es%20la%20que,otro%20con%20una%20categor%C3%ADa%20menor.>

## ANEXO DE BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía no utilizada en el texto, pero también relevante:

Diario Oficial de la Unión Europea. *Directiva 2011/65/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 8 de junio de 2011 sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos*. Consulta 04 de abril de 2021. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011L0065&from=EN>

Diario Oficial de la Unión Europea. *Directiva 2015/863 de la Comisión de 31 de marzo de 2015 por la que se modifica el anexo II de la Directiva 2011/65/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en cuanto a la lista de sustancias restringidas*. Consulta 04 de abril de 2021. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0863&from=SK>

Guía de RoHS. *RoHs 3, UE 2015/863*. Consulta 05 de abril de 2021. <https://www.rohsguide.com/rohs3.htm>

Rtve Noticias. *Residuos electrónicos, España quinto país de la Unión Europea que más basura electrónica genera*. Consulta 11 de abril de 2021. <https://www.rtve.es/noticias/20190303/espana-quinto-pais-union-europea-mas-basura-electronica-genera/1893460.shtml>

Ecopilas. *Procesos de reciclaje*. <https://www.ecopilas.es/el-reciclaje/procesos-de-reciclaje-de-pilas/>

Residuos profesional. *España tiene la segunda red de reciclaje de pilas más grande de Europa*. Consulta 11 de abril de 2021. <https://www.residuosprofesional.com/espana-segunda-red-reciclaje-pilas/>

European Recycling Plataform. *Pilas y acumuladores*. Consulta de 11 de abril de 2021. <https://erp-recycling.org/es-es/concienciacion-recursos-3/que-ocurre-con-nuestros-residuos/pilas-y-acumuladores/>

RECYTRANS, *Soluciones globales para el Reciclaje. Reciclaje de Pilas*. Consulta 11 de abril de 2021. <https://www.recytrans.com/blog/reciclaje-de-pilas/>

*GESTIÓN Y PREVENCIÓN DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE): UNA PROPUESTA PARA PROMOVER LA ECONOMÍA CIRCULAR*. Consulta 09 de mayo de 2021. Recuperado de [https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/22413/2018\\_aja\\_puentes\\_raee.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/22413/2018_aja_puentes_raee.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

La Sexta. *Reciclaje de electrodomésticos para convertirlos en coches, bicicletas o grifos.* Consulta 09 de mayo. Recuperado de [https://www.lasexta.com/programas/equipo-investigacion/noticias/triturado-descontaminacion-asi-se-reciclan-los-electrodomesticos-para-convertirse-en-coches-bicicletas-o-grifos\\_201911295de19dbf0cf2bbd0b33c34f0.html](https://www.lasexta.com/programas/equipo-investigacion/noticias/triturado-descontaminacion-asi-se-reciclan-los-electrodomesticos-para-convertirse-en-coches-bicicletas-o-grifos_201911295de19dbf0cf2bbd0b33c34f0.html)

Punto limpio. *Reciclaje de equipos de aire acondicionado.* Consulta 09 de mayo de 2021. Recuperado de <https://punto-limpio.info/como-se-reciclan-los-raee/aires-acondicionados/>

La vanguardia. *La ONU reclama acciones contra la plaga mundial de basura electrónica.* Consulta 09 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.lavanguardia.com/natural/20190125/454292252661/la-onu-reclama-acciones-contra-la-plaga-mundial-de-la-basura-electronica.html>

The Global E-Waste Statistics Partnership. Consulta 09 de mayo de 2021. Recuperado de <https://globalewaste.org/statistics/country/spain/2019/>

Interempresas. *Reciclado de equipos de climatización.* Consulta 09 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.interempresas.net/Reciclaje/Articulos/126223-El-reciclado-de-los-equipos-de-climatizacion.html>

Raee Andalucía. *Empresas que reciclan.* Consulta de 09 de mayo. Recuperado de <https://www.raeeandalucia.es/recicla/empresas-que-reciclan>

El país. *Tu nevera acabará en un vertedero.* Consulta 09 de mayo. Recuperado de [https://elpais.com/elpais/2015/10/15/ciencia/1444912109\\_345776.html](https://elpais.com/elpais/2015/10/15/ciencia/1444912109_345776.html)