

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS EN SU CATEGORÍA 7 (JUGUETES)

Victoria Pérez-Belis

María D. Bovea

Ana Gómez

Antonio Ruiz

Dpto. Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I de Castellón. España

Abstract

The aim of this study is the physical and chemical characterization of waste of electrical and electronic equipment (WEEE) belonging to the category 7 (toys) of the Directive 2002/96/CE. The analyzed sample comes from a campaign of awareness and sensitization and collection of used toys developed under the slogan “*Extend the life of your toys. Don't thought them away*”, organized by the research group INGRES (Waste Engineering) at Jaume I University in collaboration with Reciplana Recuperacions. The campaign was developed from May to July 2011 in different pre- and primary schools and at the university. The final amount collected reaches a ton of toys, registering a total of 1014,25 kg (31,83% WEEE and 68,16 % non-WEEE).

From a representative sample of each of the subcategories in which the WEEE fraction can be divided, a physical and chemical characterization have been done. The physical characterization allows obtaining information regarding to materials, electric and electronic parts, systems for assembly and disassembly, etc. The chemical characterization allows determining the plastic material composition, information that can be applied to analyze the feasibility of valorization of the obtained materials.

Keywords: *WEEE; toy; disassembly; characterization*

Resumen

El objetivo principal de esta comunicación es la caracterización, tanto a nivel físico como químico, de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEEs) pertenecientes a la categoría 7 (juguetes) de la Directiva 2002/96/CE. La muestra analizada procede de la campaña de sensibilización y recogida de juguetes “*Alarga la vida de tus juguetes. No los tires a la basura*”, organizada por el grupo INGRES (INGeniería de RESiduos) de la Universitat Jaume I de Castellón en colaboración con Reciplana Recuperacions. Esta campaña se realizó de mayo a julio de 2011 en diferentes centros de educación infantil y primaria y en la universidad, recopilándose un total de 1014,25 kg (31,83 % RAEE y 68,16 % no RAEE).

A partir de una muestra representativa de cada una de las subcategorías en que puede dividirse la fracción RAEE, se ha realizado una caracterización física y química de la misma. La caracterización física ha permitido obtener información relativa a los materiales que los componen, parte eléctrica y electrónica, sistemas de anclaje y ensamblado, etc. Mediante la caracterización química se ha analizado la composición de los plásticos que los forman, información necesaria para analizar la viabilidad y aprovechamiento de las fracciones resultantes.

Palabras clave: *RAEE; juguete; desensamblaje; caracterización*

1. Introducción

El marco normativo de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEEs) viene dado por la Directiva 2002/96/CE y el RD 208 (2005) en el caso de España. Esta legislación establece, entre otros, que para cada una de las categorías detalladas en la Tabla 1, los RAEEs sean recogidos de forma selectiva y tengan una adecuada gestión.

Tabla 1. Categorías de RAEEs según la Directiva 2002/96/CE.

Categoría	Descripción
1	Grandes electrodomésticos
2	Pequeños electrodomésticos
3	Equipos de informática y telecomunicaciones
4	Aparatos electrónicos y de consumo
5	Aparatos de alumbrado
6	Herramientas eléctricas y electrónicas
7	Juguetes y equipos deportivos y de tiempo libre
8	Aparatos médicos
9	Instrumentos de medida y control
10	Máquinas expendedoras

Para la mayor parte de estas categorías, como grandes electrodomésticos, aparatos de informática y telecomunicaciones, aparatos de alumbrado, etc., los consumidores conocen y utilizan las vías de retirada de los mismos, realizadas a través de Sistemas Integrados de Gestión (SIG). Sin embargo, para los pequeños aparatos eléctricos y electrónicos (PAEEs) y de forma específica los juguetes, los hábitos de retirada no se han asimilado como en el resto de categorías, debido a su reducido tamaño, que facilita que éstos sean desechados en los contenedores habituales en los hogares (Dimitrakakis et al., 2009).

Esta comunicación se centra en la gestión de la categoría 7, que engloba a los juguetes. Según los datos extraídos de la Fundación Ecotic, en España únicamente se recoge un 2% de la categoría de juguetes en los puntos limpios, cifra que contrasta con el 11,11% registrado en Europa (Ecotic, 2010). El objetivo de esta comunicación es presentar el resultado de una campaña de recogida de juguetes, y la caracterización, tanto química como física, de su fracción RAEE.

2. Metodología

El Grupo de Ingeniería de Residuos (INGRES) de la Universitat Jaume I (UJI) en colaboración con Reciplana Recuperacions S.L. (empresa de inserción social de la Fundació Tots Units), planteó una campaña de sensibilización y recogida de juguetes durante los meses de mayo a julio de 2011, tanto en la universidad como en varios centros de educación infantil y primaria de Castellón.

Los objetivos de esta campaña fueron:

- sensibilizar a la población sobre la correcta gestión de este tipo de residuo.

- recoger tanto juguetes como partes de juguetes que ya no se utilicen en los hogares, independientemente de si funcionan o no, para que éstos puedan ser reutilizados o en su defecto, reciclados.
- caracterizar los residuos recogidos.

La campaña se desarrolló bajo el lema “Alarga la vida de tus juguetes. No los tires a la basura”, siguiendo las etapas que muestra la Figura 2, y que se describen a continuación:

1. Contacto con los colegios para explicar la experiencia piloto y pedir su colaboración.
2. Colocación de un contenedor que permanecía en cada centro durante 10-15 días.
3. Reparto de material de sensibilización (Figura 1):
 - Un cartel de la campaña para cada uno de las aulas del colegio.
 - Un tríptico orientado hacia el público infantil, en el que se explica qué es un juguete eléctrico y electrónico, cómo se identifica y cómo se ha de gestionar su residuo.
 - Un díptico informativo para los padres, que incluía una encuesta sobre hábitos de consumo y retirada de juguetes.

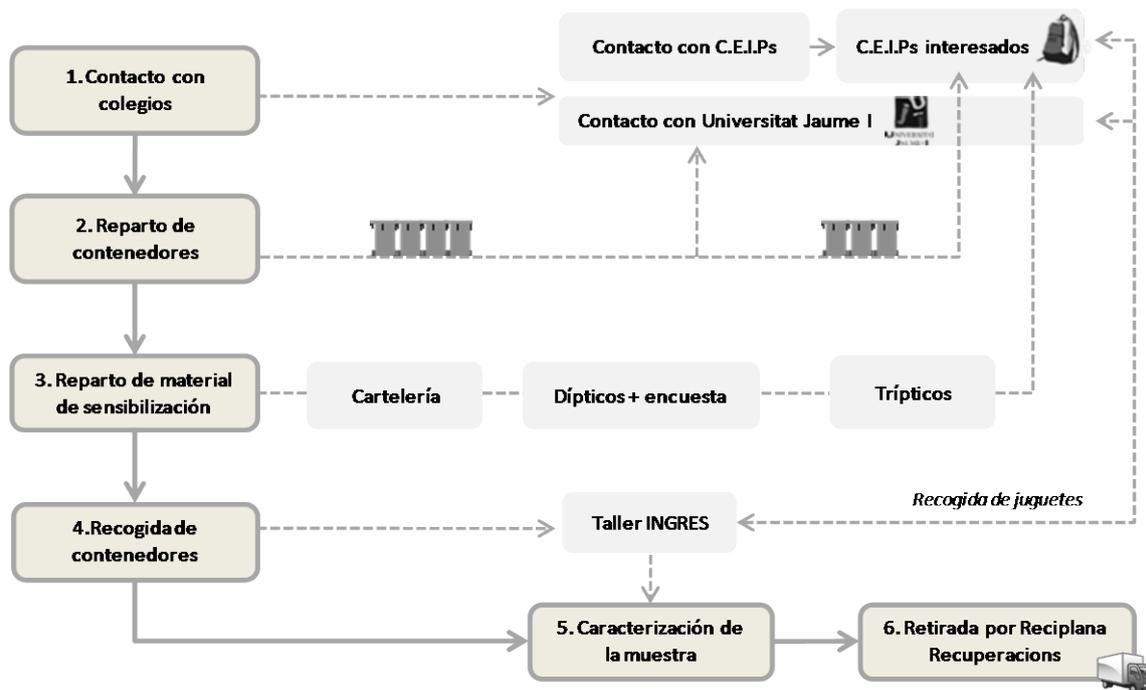
Figura 1. Documentación de la campaña: cartel, tríptico y díptico.



4. Recogida cada 3 días del contenido del contenedor y transporte al Taller de Residuos de la UJI.
5. Caracterización de la muestra recogida:
 - Pesaje de la muestra, contar número de unidades.
 - Clasificación entre RAEE y no RAEE.
 - Para la muestra RAEE:
 - Clasificación en subcategorías: primera infancia, figuras transformables (robots, mascotas, etc.), palomiteros-proyectores-manualidades, vehículos montables, vehículos de tamaño reducido, juegos de mesa electrónicos, muñecas y accesorios, peluches, teléfonos, musicales-audio, otros e impropios.
 - Contabilizar unidades y peso por subcategoría.

- Para cada unidad RAEE, se elabora una ficha en la que se indica: si el juguete funciona, si lleva pilas, tipo de pila, etc.
 - Selección de muestra representativa a desensamblar.
 - Desensamblaje.
 - Caracterización física.
 - Caracterización química.
 - Para la muestra no RAEE:
 - Clasificación en subcategorías: primera infancia, puzzles, juegos de mesa y libros, peluches, coches y muñecos, pelotas, instrumentos musicales, otros e impropios.
 - Contabilizar unidades y peso por subcategoría.
6. Los juguetes, tanto RAEEs como no RAEEs, tras su caracterización, son recogidos por la empresa Reciplana Recuperacions S.L., que se encarga de higienizarlos y repararlos, para que otros niños puedan jugar con ellos. Aquéllos que no puedan ser aprovechados, se separarán en sus diferentes materiales para su posterior reciclado, ya que son gestores autorizados.

Figura 2. Metodología de la campaña.



3. Cantidades recogidas

La campaña se realizó de forma puntual en ocho centros educativos de infantil y primaria (CEIPs) de Castellón con una duración de 15 días en cada uno de ellos, abarcando un total

de 16966 niños¹, y en la Universitat Jaume I con una duración continuada de tres meses. Se recogieron 1014,25 kg, distribuidos como muestra la Tabla 2.

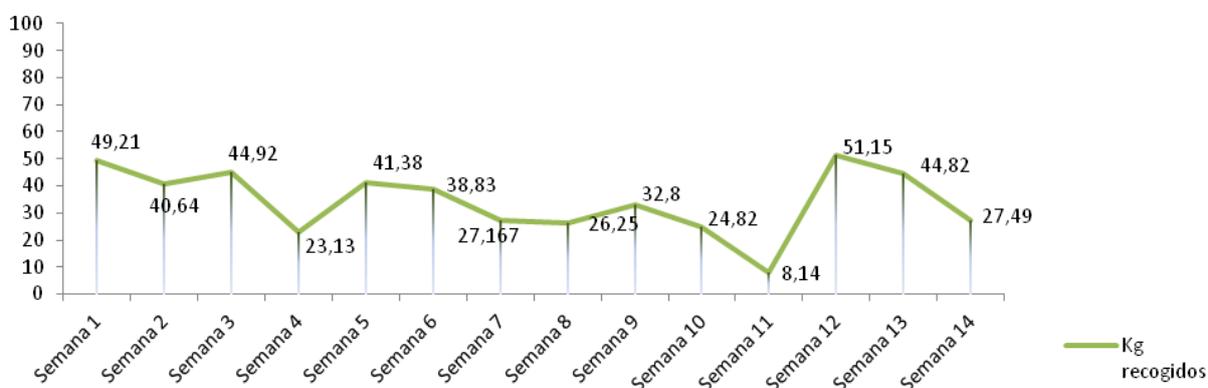
Tabla 2. Cantidades recogidas.

Puntos de recogida	RAEE		no RAEE	
	kg	%	kg	%
Universitat Jaume I	134,76	41,75	345,99	50,05 %
CEIPs	188,08	58,25	345,42	49,95 %
Total	322,84		691,41	

La tasa de generación de residuos de juguetes en los CEIPs fue de 0,20 kg/niño.

En la UJI, al ser una campaña continuada, se recogieron de media 34,33 kg/semana, según muestra la Figura 3.

Figura 3. Evolución de las recogidas durante la campaña trimestral en la UJI.



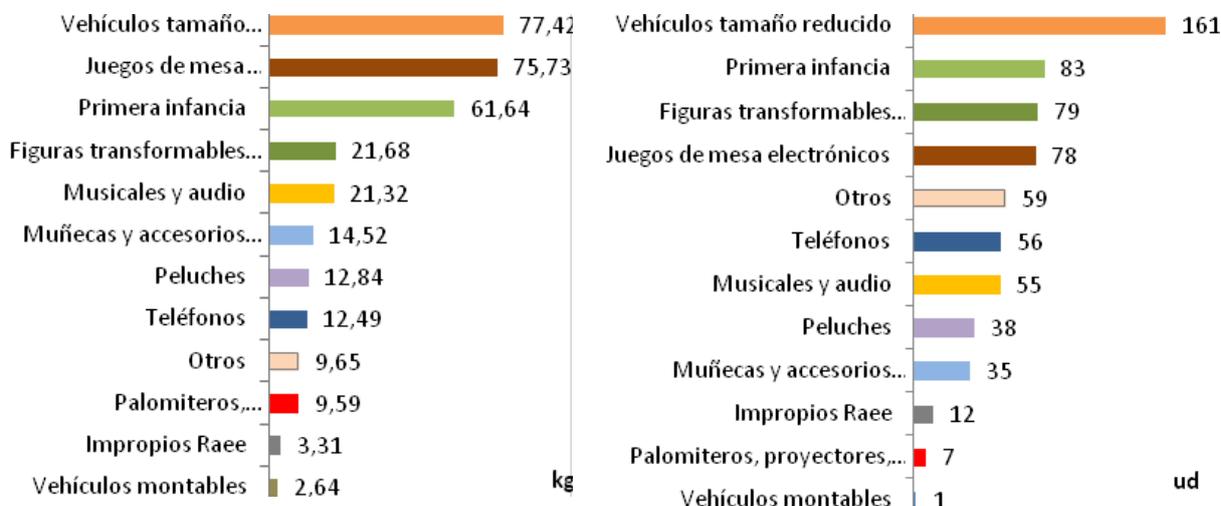
4. Caracterización física de la fracción RAEE

Se entiende como caracterización física, al proceso de clasificación, registro y análisis de cada uno de los productos de la categoría RAEE recogidos, incluyendo el desensamblaje de una muestra representativa.

El total de kg y unidades de RAEEs recogidos se clasifican en subcategorías, según muestra la Figura 4.

¹ Según Bartlett (2001) el tamaño de muestra para un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, es de 384 alumnos, por lo que estamos en un valor muy superior al exigido.

Figura 4. Kg y unidades recogidas por subcategoría.



Para cada una de las unidades clasificadas, se analizaron las características mostradas en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados generales de la caracterización física.

Características	%	Tipo de baterías	%
Funcionan	65,34	AA LR03	7,08
No funcionan	29,29	AAA LR 6	56,03
n/d	5,37	AA LR 14	3,85
Incluye baterías	69,63	AA LR 41	19,41
No incluye baterías	27,45	AA LR 44	7,87
n/d	2,91	CR 2032	0,52
Marcado RAEE	58,28	LR54	0,70
No marcado RAEE	39,88	6LR61	0,61
n/d	1,84	LR20D	1,22
Material marcado	6,29	Otros	2,71
Material no marcado	90,18		
n/d	3,53		

A continuación, se procedió al desensamblaje de una muestra representativa de la fracción RAEE de 72,02 kg², distribuidos según muestra la Tabla 4. El desensamblaje se realizó con el objetivo de:

- Conocer el acceso a las pilas y a los componentes eléctricos/electrónicos.
- Analizar la fijación de los componentes electrónicos en el juguete.

² Según Bartlett (2001), el tamaño de muestra para un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 10%, considerando un total de 287,98 kg totales, es de 72 kg.

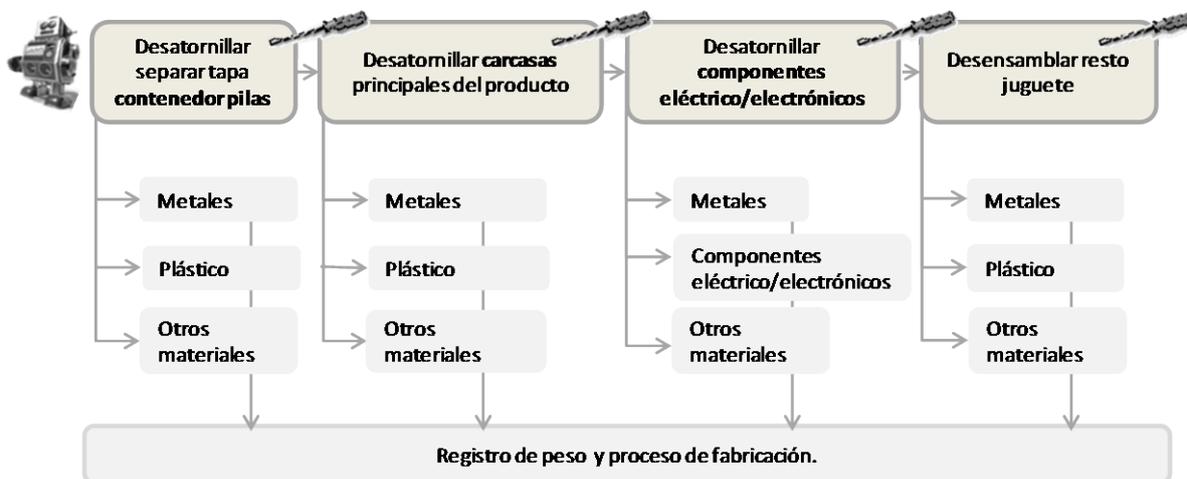
- Determinar el porcentaje de peso del contenido eléctrico/electrónico respecto del peso total del juguete.
- Conocer la composición de los componentes no eléctricos/electrónicos.

Tabla 4. Peso representativo a desensamblar por subcategoría.

	Muestra representativa (kg)
Primera infancia	14.71
Figuras transformables (robots, mascotas)	5.04
Palomiteros, proyectores, manualidades	1.90
Vehículos montables	0.63
Vehículos tamaño reducido	15.13
Juegos de mesa electrónicos	15.70
Muñecas y accesorios muñecas	4.02
Peluches	3.68
Teléfonos	3.94
Musicales y audio	3.73
Otros	2.04
Impropios Raee	1.51
	72.02

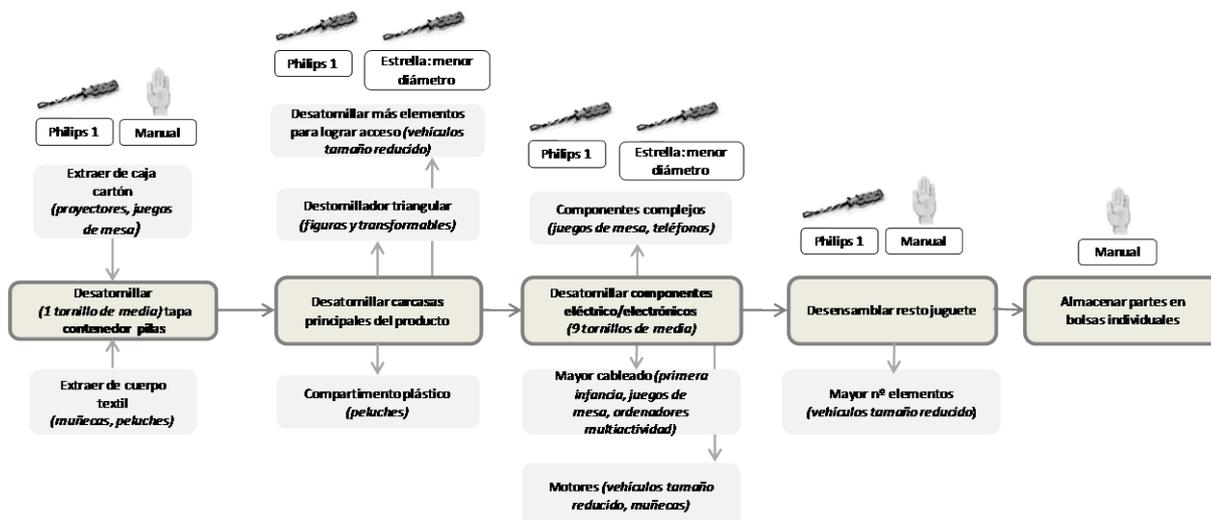
Así, para esta muestra representativa se procede siguiendo las fases de la Figura 5.

Figura 5. Proceso general de desensamblado.



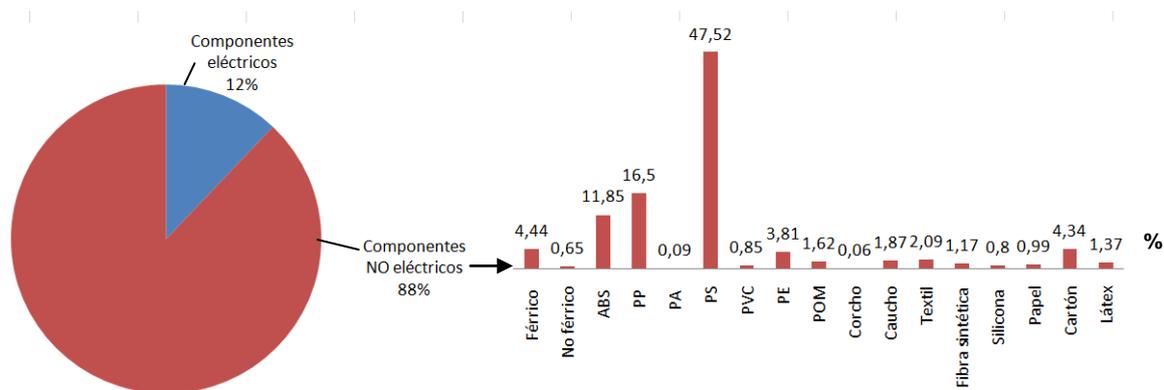
A raíz del análisis de los pasos de desensamblaje de cada subcategoría, se establecen unas directrices comunes a todas ellas, como muestra la Figura 6, indicando consideraciones específicas para alguno de los grupos.

Figura 6. Etapas de desensamblaje generales y consideraciones por subcategoría.



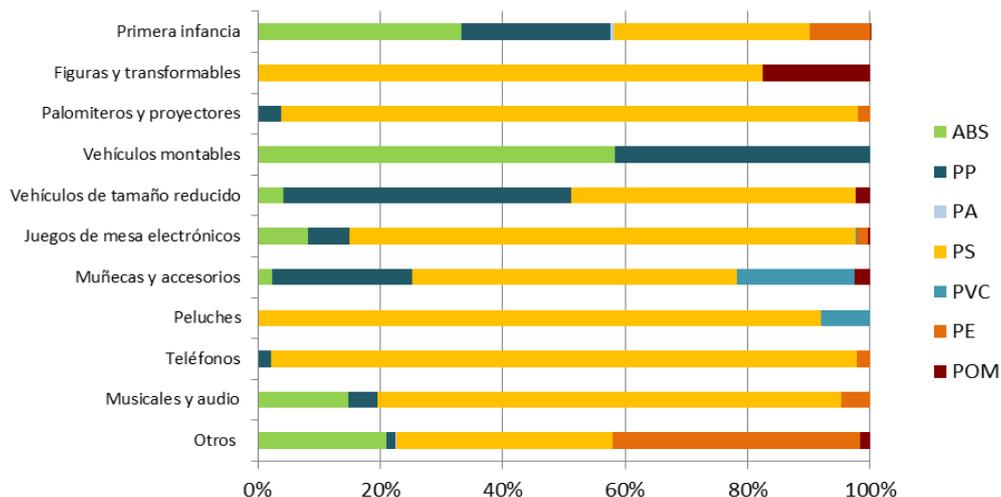
En cuanto a los materiales encontrados, la Figura 7 muestra cómo se distribuyen tanto los componentes eléctricos y electrónicos, como los que no lo son.

Figura 7. Porcentaje en peso de los componentes y materiales.



Dado que la caracterización química se realiza de los plásticos procedentes de RAEEs, se muestra a continuación en la Figura 8 el contenido en los diferentes tipos de plásticos para cada una de las subcategorías.

Figura 8. Porcentaje en peso de los plásticos, para cada subcategoría.

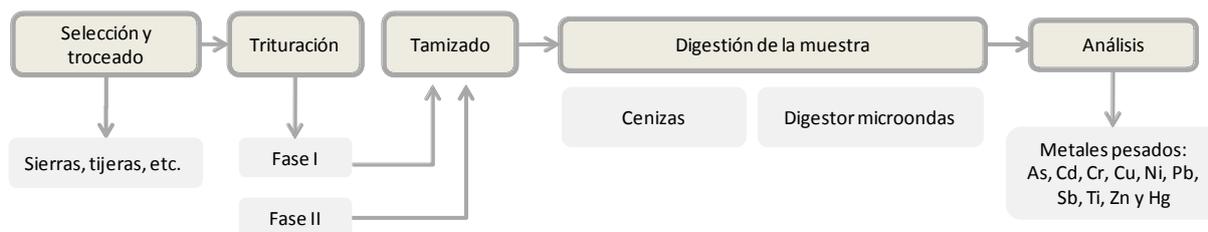


5. Caracterización química

El objetivo de la caracterización química es determinar la concentración de las sustancias peligrosas reguladas por la Directiva 2002/95/CEE sobre restricción de sustancias en aparatos eléctricos y electrónicos. Esta información es esencial para plantas de recuperación y reciclaje de estos residuos, por lo que existen algunos estudios que analizan el contenido en metales pesados y retardantes de llama en la fracción plástico de los RAEEs (Fink et al., 2000, Morf et al., 2007, Schlummer et al., 2007, Dimitrakakis et al., 2009).

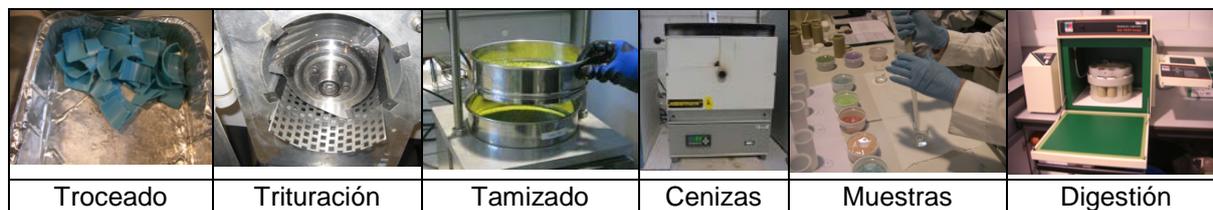
En este estudio, se ha caracterizado la fracción plástica derivada de la muestra representativa caracterizada, siguiendo el proceso mostrado en la Figura 9.

Figura 9. Proceso seguido para la caracterización química.



Una vez identificados los diferentes tipos de plástico, se seleccionan muestras de materiales procedentes de diversos juguetes con diferentes colores y formas. Estas piezas se trocean con la ayuda de tijeras, cortadoras y sierras y se introducen en el molino de cuchillas de alto rendimiento (modelo SM2000) para conseguir una granulometría adecuada, utilizando el molino centrífugo para aquellos plásticos más resistentes. A continuación se tamiza la muestra y se digiere, proceso previo al análisis. Para poder digerir la muestra, se reduce en primer lugar a cenizas blancas, introduciéndolo a continuación en el digestor de microondas (media presión MILESTONE modelo MLS 1200 equipado con rotor MDR-300). La Figura 10 muestra imágenes de algunas de las etapas del proceso.

Figura 10. Etapas del proceso de preparación de muestras para posterior caracterización química.



Tras determinar el nivel de humedad de la muestra (0.23%), se determinan las concentraciones de los siguientes metales pesados sobre tres muestras:

- Ti, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Sb, Pb se analiza por ICP-MS Agilent 7500cx
- Hg se analiza por absorción atómica en un analizador de mercurio total LECO modelo AMA-254.

La Tabla 6 muestra los resultados obtenidos sobre la muestra seca.

Tabla 6. Concentración en el sólido (mg/kg) s.m.s.

Muestra	Ti	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Pb	Hg
M2	144,332	3,408	1,739	14,127	17,041	0,0138	0,0316	0,0563	0,7063	0,0069
M3	147,360	3,824	2,109	13,796	17,245	0,0135	0,0295	0,0490	0,7798	0,0064
M5	213,965	2,928	1,442	9,548	26,847	0,0303	0,0268	0,0276	0,7161	0,0062
media	168,552	3,387	1,763	12,490	20,378	0,0192	0,0293	0,0443	0,7341	0,0065

6. Conclusiones

A continuación se presentan las principales conclusiones del estudio:

- En cuanto a la recogida:
 - Se observa que existe una necesidad generalizada de gestión de este tipo de residuo, demostrada tanto por los resultados de las encuestas como por la cantidad de juguetes recogidos. Las encuestas recogen la opinión directa del consumidor, detectando una insuficiente información ambiental y una gestión incorrecta de sus RAEEs en la categoría 7. Por otro lado, el hecho de recoger más de una tonelada de RAEEs durante una campaña trimestral y de extensión reducida, demuestra que el consumidor dispone de RAEEs en el hogar pero desconoce el modo de retirarlos.
- En cuanto a la caracterización inicial:
 - Se comprueba que el 65,34 % de los juguetes retirados funcionan correctamente, por lo que deben impulsarse acciones de reutilización y aumentar así la vida útil de estos juguetes.
 - Por otro lado, se observa que el 69,63% de los juguetes se retiran con las baterías incluidas, por lo que se deduce que el consumidor no es consciente de que éstas deben ser retiradas del juguete antes de desecharlo para que puedan ser gestionadas como residuo independiente. El tipo de batería más común corresponde al tipo AAA LR 06 representando el 56,03% del peso total de baterías.

- . En lo referente al marcado, el símbolo RAEE se identifica en el 58,28% de los juguetes, mientras que únicamente en un 6.29% se indica el material en el que se encuentran fabricadas sus piezas. Es necesario, por tanto, impulsar estas medidas de identificación orientadas hacia el fin de vida, con objetivos de facilitar la correcta gestión y clasificación, tanto de los residuos como de sus materiales para lograr su correcto reciclaje.
- En cuanto a los materiales plásticos:
 - . El PS es el plástico más representativo en todas las categorías a excepción de los “vehículos montables”, en el que predomina el ABS, y en los “vehículos de tamaño reducido” en el que se encuentra en la misma proporción que el PP. Éstos son los más habituales junto con el PS en este tipo de productos.
 - . PE es el cuarto plástico más representativo de la muestra analizada, encontrándose en gran medida en el grupo “otros”, “primera infancia”, “musicales y audio” y “teléfonos”. En menor medida en “juegos de mesa” y “Palomiteros y proyectores”, no resultando su porcentaje representativo en el resto de categorías.
 - . POM y PA son minoritarios, identificados en “figuras y transformables”. Esto se debe a los engranajes y piezas sometidas a fricción que emplean, como en el caso de los vehículos de tamaño reducido.
 - . Únicamente se ha identificado PVC en grupos como “muñecas y accesorios” y “peluches”, y en menor proporción en “juegos de mesa electrónicos”. Tanto las extremidades como las cabezas de los muñecos, en su mayoría, se fabrican en PVC.
 - . El ABS es minoritario, encontrándose en la muestra analizada en las ruedas y piezas de los vehículos montables y en algún juguete de primera infancia. Generalmente en piezas de exterior o que sufren constantes impactos. Sin embargo, es un material con un precio elevado por lo que no suele ser especialmente característico del sector juguetero, siendo sustituido por PS que presenta características similares a menor coste.
- En cuanto a la caracterización química:
 - . Los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos para las diferentes sustancias fijadas en la Directiva 2002/95/CEE, tal y como se observa en la Tabla 7. Esto significa que no requieren ser sometidos a procesos específicos de separación de estas sustancias peligrosas para su posterior aprovechamiento y reciclaje, pudiendo ser reutilizados.

Tabla 7. Resultados y los límites establecidos.

Elemento	Directiva 2002/95/CEE (mg/kg)	Resultados estudio (mg/kg)
Pb	1000	0,7341
Cd	100	0,0293
Hg	1000	0,0065
Ni	-	1,7633
Zn	-	20,3777
Cu	-	12,4903
Cr	1000 (Cr(VI))	3,3867
Sb	-	0,0443
Ti	-	168,5523
As	-	0,0192

7. Referencias

Bartlett, J. E. (2001). Organizational research: determining appropriate sample size in survey research. *Information Technology, Learning, and Performance Journal*, 19:1.

Dimitrakakis, E., Janz, A., Bilitewski, B. & Gidaracos, E., (2009). Small WEEE: Determining recyclables and hazardous substances in plastics. *Journal of Hazardous Materials 161 (2-3)*, 913-919.

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.

Directiva 2002/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de enero de 2003 sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Ecotic, Fundación (2010). *Memoria de actividades*. Recuperado el 20 de Abril de 2011, de <http://www.ecotic.es/es/publicaciones-de-ecotic>

Fink, H., Panne, U., Theisen, M., Niessner, R., Probst, T. & Lin, X., (2000). Determination of metals additives and bromine in recycled thermoplast from electronic waste by TXRF analysis. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry 368*, 235-239.

Morf, L.S., Tremp, J., Gloor, R., Schupisser, F., Stengele, M. & Taverna, R. (2007). Metals, nonmetals and PBC in electrical and electronic waste - Actual levels in Switzerland. *Waste Management 27*, 1306-1316.

RD 208/2005 (2005) Real Decreto 208/2005 de 25 de febrero sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos. Boletín Oficial del Estado. 26 de Febrero de 2005.

Schlummer, M., Brandl, F. & Maurer, A. (2007). Characterization of polymer fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE) and implications for waste management. *Chemosphere, 67*, 1866-1876.

Correspondencia:

M^a Dolores Bovea Edo. Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I. Av. Sos Baynat s/n. E-12071 Castellón. Spain.

Phone: +34 964 728112

Fax: +34 964 728106

E-mail: bovea@uji.es

URL: <http://www.ingres.uji.es>