

## Caracterización y valorización de residuos informáticos

Ruzzo, Aneley; Rodríguez, Eduardo; Costa, Santiago; Burzacca, Luciana; Deco, Claudia

Facultad de Química e Ingeniería del Rosario. Pontificia Universidad Católica Argentina  
Av. Pellegrini 3314, (2000) Rosario, Santa Fe, Argentina  
{ejrodriguez, santiagocosta, lucianaburzacca, cdeco}@uca.edu.ar

**Resumen.** El crecimiento constante de la cantidad de Residuos Eléctricos y Electrónicos produce un gravísimo impacto ambiental y pérdida económica ocasionada a partir de su no reutilización y su no reciclado. En la Argentina todavía existe poca conciencia sobre la importancia de este tema. Existen oportunidades para que dispositivos desechados, luego de un tratamiento adecuado, puedan ser reutilizados con distintos fines. El objetivo de este trabajo es identificar, clasificar y valorar los diferentes elementos que constituyen estos residuos a fin de lograr un impacto positivo en la Sociedad y al mismo tiempo reducir los residuos electrónicos.

**Palabras claves:** RAEE, Residuos Electrónicos, Gestión, Reutilización.

### 1 Introducción

Los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) son adquiridos por las personas con la finalidad de satisfacer necesidades y mejorar la calidad de vida, por lo que las empresas de tecnología e informática se encuentran permanentemente en la búsqueda de mejoras y creación de nuevos dispositivos para suplir las demandas de la sociedad. Cuando dejan de ser funcionales, ya sea por rotura, fallas internas u obsolescencia, pasan a ser residuos, como así también todos sus subcomponentes, incluyendo cables y fuentes. En este artículo se profundiza su caracterización, sus consecuencias ambientales y su valorización. Cuando tiramos una batería recargable o una plaqueta electrónica, el camión contratado por el Municipio lo lleva con el resto de los residuos sólidos al basural o relleno sanitario. A este modelo se lo denomina minería inversa, es el proceso inverso de la minería o producción petrolera: pone bajo tierra plásticos (petróleo transformado) y minerales como hierro, cobre y aluminio. Por otro lado, el tubo de rayos catódicos de un monitor o una TV es un objeto muy resistente, hecho de vidrio y óxido de plomo o bario. Aunque es frágil porque con una simple caída puede quebrarse, para los componentes naturales del suelo es una tarea titánica descomponerlo. Pero el peligro está en que, al degradarse en un basural o ecosistema, el denominado fósforo del monitor libera metales pesados altamente tóxicos como mercurio y cadmio [1].

El objetivo de este trabajo es identificar, clasificar y valorar los diferentes elementos constituyentes de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). Como objetivo secundario destacamos la toma de conciencia en las personas, algo que es fundamental para poder lograr la disminución en la producción de residuos. Para lograr esto se propuso: Analizar el estado del arte sobre el RAEE, Analizar los flujos de trabajo de una planta de reciclado, Analizar el impacto ambiental de los residuos procesados por la planta, Analizar la ponderación económica de las materias primas (metales, plásticos, etc.) y partes recuperadas. El Nodo TAU [2] es una asociación civil dedicada a la promoción del uso de las nuevas TICs en grupos y organizaciones sociales para colaborar en su inclusión social.

Desde una visión crítica de los fenómenos tecnológicos, promueve la democratización y el uso con buen sentido de estas herramientas. Está integrado por profesionales de informática y comunicaciones, educadores y militantes sociales dedicados a facilitar el acceso a las nuevas tecnologías a organizaciones comunitarias, barriales y cooperativas para promover la lucha contra la pobreza y la exclusión y el cuidado del ambiente. Este nodo puso en marcha una Planta de Gestión de Residuos Informáticos que funciona desde abril de 2019, destinada a la formación y creación de empleo en el sector juvenil. Ofrece el servicio certificado de tratamiento de residuos informáticos a empresas e instituciones, realizando reciclado y reutilización de equipos. Se chequea si es posible repararlos, se prueban y, si funcionan correctamente, se venden o donan a instituciones que lo necesiten. En caso contrario, se procede a su despiece y valorización. No será un residuo peligroso, hasta que del conjunto del RAEE se segreguen aquellas piezas que la autoridad local define como tales, por ejemplo pilas, baterías, cristal líquido, motores contaminados con aceites o transformadores con PCB.

## 2 Generación de RAEE y Materias que se pueden recuperar

La generación de RAEE no es homogénea en el mundo. En países en desarrollo, la menor capacidad de consumo implica también menores tasas de recambio y una mayor tendencia a la reparación y reutilización de aparatos de segunda mano. En el mundo, se generaron 56 millones de toneladas de RAEE durante el 2019, lo que equivale a 7,3 kg anuales por habitante. Es un aumento de 21% desde 2014 y se estima que, de no tomarse medidas, crecerá un 56% más para 2030 y podría llegar a 74 millones de toneladas. En 2019, la mayoría de los RAEE se generaron en Asia (24,9 millones de toneladas), pero América del Norte y Europa fueron los que tuvieron mayor generación por habitante: 20,9 kg/hab y 16,2 kg/hab respectivamente. En contraste, América del Sur generó 9,1 kg por persona. Con respecto a nuestro país, en el año 2019 Argentina colocó en el mercado un total 571 kilotoneladas de AEE, generando un total de residuos electrónicos de 456.000.000 kgs. Con una población de 45.052.000, se puede decir que la generación per cápita es 10,30 kg [3]. Lo ideal a realizar con un RAEE es lo que se conoce como las tres R: *Remanufactura o reacondicionamiento del AEE*: incluye procesos y procedimientos de re-manufactura o re-acondicionamiento, extensión del ciclo de vida del conjunto del aparato o sus partes. Muchos fabricantes tienen incorporados estos servicios en la posventa de sus AEE. En su recupero muchas partes tienen valor de reventa, tales como fuentes de energía eléctrica, motores, plaquetas testeadas, compresores, etc. Las tareas las puede hacer el fabricante, sus servicios técnicos o terceras partes autorizadas. En el Mercosur existen muchas empresas que re-manufacturan/re-acondicionan todo tipo de equipos o piezas de repuesto, sin la autorización de las marcas. Esto debe ser regulado. *Reciclado del AEE*: incluye procesos de desmontaje o de manufactura, segregación de materiales, compuestos, polímeros y metales por tipo/color/estado, procesamiento para su reventa como metales ferrosos (hierros, chapas), metales no ferrosos (cobre, latón, aluminio, zinc, inoxidable, etc.), plásticos de ingeniería (HIPS, PC-ABS, acrílicos, PP, PS, etc.), vidrios, compuestos, etc. El reciclador desmonta, segrega y clasifica materias primas para acondicionarlas para su venta como insumo de nuevo proceso industrial. Los fabricantes originales de equipo prefieren trabajar con recicladores, que garantizan que su RAEE va a reciclado y no a re-uso compitiendo con las propias ventas. *Refinado y Primarización*: son procesos y tecnologías para obtener materias primas para ser comercializadas al mercado industrial global. Sus precios se referencian a los de mercados de materias primas, en especial al LME (London Metal Exchange). Es decir, dependiendo de la calidad del RAEE pagan sobre el LME más premios o menos reducciones por fuera del estándar. Las empresas de este sector suelen estar concentradas, son globales, de gran escala

y cuentan con altos conocimientos tecnológicos. Son las que producen la materia prima con la cual sigue funcionando la rueda de la Era Tecnológica.

A continuación se describen los materiales que se pueden recuperar.

**Metales ferrosos y no ferrosos - chatarra de hierro, aluminio y cobre:** La chatarra de hierro se obtiene fundamentalmente de los gabinetes de los dispositivos y partes sueltas de equipos. Su venta se destina a granel al mercado local y tiene muy bajo valor en el mercado de la chatarra. Se puede mejorar su valor incorporando cizallas o equipamiento para llevarlo a pequeños cortes y acopiar grandes volúmenes para poder acceder directamente a la venta a las acerías y fundiciones. El cobre se obtiene mayoritariamente del desarme de monitores de tubos de rayos catódicos (TRC) y el pelado de cables. El aluminio, se obtiene de los disipadores de fuentes y procesadores y de otras partes de las carcasas de los equipos. Impacto en el medio ambiente: La contaminación de los ecosistemas está relacionada con el tipo de metal y la concentración a la que está expuesto dicho ecosistema. Los más tóxicos son los metales pesados, donde ya se conoce los efectos que tiene en los seres vivos, como por ejemplo el plomo es cancerígeno en concentraciones muy bajas. La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación.

**Plásticos:** Los RAEE contienen diferentes tipos de plásticos, con distintas composiciones de polímeros. Cuatro de estos polímeros –ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), polipropileno, poliestireno y poliuretano- representan más del 70 % del total de los plásticos obtenidos en el desensamblado, el resto lo comprende una variedad diversa. Para obtener productos de alta calidad, deben clasificarse adecuadamente antes de su procesamiento. Cuando no están identificados por el fabricante en la matriz de inyección donde se origina, la clasificación se hace dificultosa a simple vista o con metodologías de bajo costo. Una vez separados y clasificados según su código de identificación, son prensados y enfardados. Además, los plásticos contienen sustancias que pueden ser peligrosas para la salud humana y para el ambiente, como retardantes de llama bromados y metales pesados (principalmente plomo y cadmio). Los plásticos que contienen tales sustancias peligrosas deben ser removidos y tratados de acuerdo con los procedimientos establecidos para cada caso. Impacto en el medio ambiente: El problema es su estabilidad en el medio ambiente, ya que tardan más de 450 años en degradarse causando un gran impacto en todos los ecosistemas de la naturaleza:

- Contaminación terrestre: un tercio de todos los residuos plásticos acaba en suelos y aguas. La mayor parte se desintegra en partículas de menos de 5 milímetros, conocidas como microplásticos, y estas se descomponen aún más hasta llegar a ser nanopartículas (menos de 0.1 micrómetros de tamaño). Estas piezas microscópicas, al ser tan diminutas, entran en la cadena alimenticia sin darnos cuenta. Esta es una de las razones de por qué la contaminación terrestre por plástico es mayor que en los mares (entre 4 y 23 veces más).

- Contaminación del mar: microplásticos que llegan al mar a través del desagüe son perjudiciales porque su tamaño tan reducido hace que no queden atrapadas por los filtros de las depuradoras. Se ha observado que animales marinos están ingiriendo estos microplásticos, lo que está provocando bloqueos gastrointestinales y alteraciones en sus patrones de alimentación y reproducción. Hay evidencias de que se transfieren a lo largo de la cadena alimentaria y llegan hasta nuestros platos. Además, existen hasta 5 islas de basura en los océanos que a veces llegan a las costas contaminando zonas terrestres.

- Contaminación del aire: La fabricación libera una cantidad variada de toxinas en el aire, pero además, muchos de los plásticos a nivel mundial son quemados liberando así muchos otros componentes tóxicos que nos provocan problemas de salud.

- Contaminación para los seres vivos: Las tortugas no pueden distinguir entre bolsas de plástico y medusas, que son parte de su dieta. Las bolsas de plástico, una vez que se consumen, causan bloqueos internos y suelen provocar su muerte. Pedazos más grandes también pueden dañar los sistemas digestivos de aves marinas y ballenas. Afecta a la fauna de dos maneras: cuando las criaturas se enredan en él y cuando lo ingieren. Millones de animales de más de 370 especies de todo el mundo comen plástico, incluso el plancton más microscópico. La presencia de toxinas en la vida animal, flora y reservas naturales que acaban siendo consumidas por el ser humano, es más que evidente.

**Vidrio:** Para comercializar los distintos tipos de vidrio que contienen monitores TRC, es preciso separarlos y procesarlos según sus distintas características y contenido de materiales contaminantes. Una vez procesados se destinan a mercados diferentes.

**Plaquetas o circuitos impresos:** contienen componentes contaminantes, poseen un alto grado de valorización en función del contenido de metales base (cobre, estaño) y metales preciosos (oro, plata, platino y sus derivados). Estos elementos se encuentran en aleaciones que no se recuperan en Argentina y se exportan para su proceso de refinado en empresas del exterior en países como Bélgica, Suecia, Alemania, Estados Unidos y Suiza.

### 3 Gestión de RAEE en Argentina

Una pequeña fracción se dispone indebidamente con los Residuos sólidos urbanos, en tanto que una cantidad muy importante - entre 50% y 60% - se almacena en hogares y pequeñas empresas e instituciones, en general, porque se desconoce qué hacer con ellos. Se estima que, luego de pasar un tiempo almacenados o de atravesar distintas etapas de recuperación, muchos de estos RAEE acaban de una forma u otra en basurales o rellenos sanitarios. Según el INTI, “un 60 % de los RAEE terminan en basurales o contenedores - sin que se les aplique un proceso adecuado de reciclaje -, liberando las toxinas, dañando la salud y condiciones de vida de gran parte de los argentinos”. Otra parte va directamente a disposición final con tratadores autorizados. Entre otros motivos, porque algunas empresas prefieren la destrucción total para asegurarse de que no se pueda acceder a la información existente en los equipos informáticos. Finalmente, alrededor de 3% entran en el circuito formal de valorización, o la llamada cadena de valor de RAEE (Figura 1). Esta se inicia con la recolección. Una vez recolectados, se separan y luego se recuperan sus funciones para ser reutilizados o se desensamblan en plantas de tratamiento para tal fin. En general, los gestores de RAEE son pequeñas y medianas empresas, iniciativas de economía social y solidaria (cooperativas, asociaciones o fundaciones) o unidades incorporadas a escuelas, universidades o reparticiones gubernamentales. Dependiendo del tipo de gestor, luego del desensamblado del aparato, puede que se intente recuperar los equipos para una segunda vida útil, o reutilización, antes de desarmarlos por completo para comercializar los materiales en el mercado nacional o internacional. En algunos casos, sobre todo en el sector privado, el material se desensambla y clasifica directamente para su comercialización, sin que haya un intento previo de reutilización. Las partes que no pueden tener un destino como nueva materia prima o que revisten peligrosidad, son enviadas a su disposición final a empresas de tratamiento de residuos industriales o peligrosos según corresponda o a rellenos sanitarios y basurales. Dependiendo del tipo y las características de cada generador, podrán ser distintas las vías de entrada a la cadena de valor y el tipo de aparato que se descarta. Los hogares y las pequeñas empresas suelen almacenar durante un tiempo sus aparatos en desuso y cuando los descartan, generalmente lo hacen en ocasión de campañas realizadas por los municipios. Cuando no hay gestores en la propia provincia, deben enviarlos a otras, incluyendo a veces el retiro de ese equipamiento obsoleto ya que algunas provincias prohíben el ingreso de residuos peligrosos.

El sector gubernamental es un generador importante de RAEE; sin embargo, en general, no hay procedimientos o normativas que ordenen la disposición final de los mismos. Incluso, es frecuente que haya trabas administrativas para dar de baja a los equipos en los inventarios, lo que genera acumulación en despachos estatales [4].

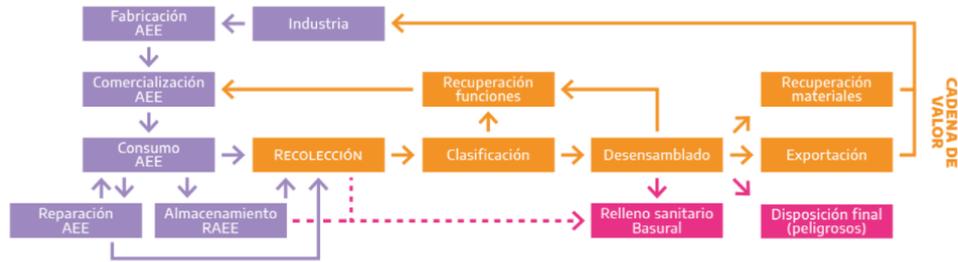


Fig. 1. Cadena de Valor de los RAEE [5]

**Recolección:** Se recogen los residuos electrónicos de hogares, empresas y oficinas, se almacenan y luego se transportan a las plantas de tratamiento. Existen distintos tipos de recolección: domiciliaria, puntos verdes fijos y móviles, campañas de recolección organizadas por municipios, recepción en locales comerciales y captación de donaciones de aparatos en desuso. Existe también trabajo de recolección informal recuperando RAEE de la vía pública. Las campañas de recolección municipales tienen normalmente una muy buena respuesta por parte de la población. Sin embargo, suelen ser esporádicas y limitarse a la recolección de aparatos informáticos y pequeños electrodomésticos, lo que deja a una amplia gama de RAEE sin opciones conocidas de descarte. Es el caso, por ejemplo, de las lámparas, que pueden contener sustancias muy peligrosas, como el mercurio. Por desconocimiento de cómo se debe proceder, por los costos que implica el transporte de residuos peligrosos, o por dificultades para dar de baja equipos, una enorme cantidad de RAEE terminan acopiados. La falta de espacio de acopio es un problema importante para quien organice una campaña de recolección ya que la infraestructura disponible para la recepción, manejo y acopio debe ser apropiada de manera que facilite su clasificación y envío posterior a los gestores. Es fundamental que la recolección y transporte hasta los centros de acopio se realice de manera adecuada para evitar daños o roturas, y que se identifique correctamente el envío para evitar que se desvíe hacia el circuito informal. La trazabilidad de los RAEE es fundamental para poder seguir todo su camino y garantizar una gestión adecuada.

**Tratamiento:** Las empresas o iniciativas dedicadas al tratamiento de RAEE en la Argentina no responden a un perfil común: algunas se dedican sólo a la reutilización y otras sólo al desensamblado y existen las que combinan ambas actividades. Pueden dedicarse en forma exclusiva o junto a otras actividades como el reciclado de metales, plásticos o el tratamiento de residuos peligrosos. También el sector no lucrativo, que tiene por objetivo la generación de empleo juvenil, la capacitación laboral, la recuperación de equipos para el sector social o la educación, ocupa un espacio significativo dentro de las iniciativas gestoras de RAEE. Las etapas que se realizan en esta instancia son:

- Clasificación, desensamblado y descontaminación: Al ingresar a la planta se registran, pesan y separan o clasifican según su categoría, para luego ser evaluados y desmontados en una línea específica. Se revisan los aparatos o sus componentes, y sus fallas para determinar si son factibles de reparación o reutilización. En ese caso, serán reparados, o sus componentes utilizados como repuestos en el armado de un nuevo AEE. Dependiendo del tipo de RAEE se puede requerir algunos conocimientos de informática, de electricidad, etc. Los aparatos o componentes que no puedan reutilizarse se desensamblan o desmontan para ingresar a un proceso de recuperación de materiales o reciclaje. En cada línea o mesa de desmontaje, se

deberá contar con las herramientas específicas y separar las carcasas (metálicas o plásticas), plaquetas electrónicas, cables, pilas y baterías, y otros componentes. Se retiran los componentes que pueden ser peligrosos, en un proceso que se denomina “descontaminación”. Este último, es un paso fundamental para garantizar que no haya daños al ambiente o la salud de las personas. En el caso de los monitores con tubos de rayos catódicos (TRC) se deben separar los tubos de vidrio. Estas sustancias y componentes peligrosos deberán tratarse posteriormente, o enviarse a disposición final como residuos peligrosos. Finalmente, se retiran y desechan los componentes que no justifican su puesta en el mercado. Estos residuos se disponen en rellenos sanitarios o basurales, según el caso. En Argentina, todo el proceso descrito es manual por lo que ocupa mucha mano de obra, que debe ser entrenada en el buen manejo y selección de los materiales. En otros países, estos procesos se realizan por trituración y selección automatizada de los materiales, lo que requiere mucha inversión y altos volúmenes de ingreso de RAEE a la planta para amortizarlas. Se considera que el trabajo manual es más eficaz que el automatizado al reducir las chances de rotura de los componentes, con lo que se facilita la clasificación y se mejoran las posibilidades de reutilización; aunque, a veces, se vuelve menos rentable por la demanda de tiempo. Según el aparato, puede haber piezas pequeñas atornilladas, otras soldadas, otras pegadas, otras encastradas, que habrá que desmontar una a una. Es muy importante que la separación y la clasificación se realicen de manera correcta, ya que si se mezclan distintos tipos de materiales entre sí se puede perder la oportunidad de venta o se puede reducir el precio del material.

- Reutilización de equipos: Consiste en la recuperación de aparatos o partes que llegan a las plantas de tratamiento como RAEE pero que aún tienen la posibilidad de repararse, o que pueden volver a utilizarse en la reparación o montaje de nuevas unidades. Desde el punto de vista técnico, las tareas son idénticas a las de un servicio técnico de reparaciones. Los equipos rotos o con fallas se reparan, se prueban y se acondicionan para la venta (a veces, otorgando una nueva garantía), o para donación con fines sociales. Se realiza en bancos de trabajo provistos de herramientas y equipamiento específicos según la categoría de AEE que se trabaje. En el caso de equipamiento informático, las empresas de gestión garantizan generalmente la protección, la seguridad y el borrado de datos confidenciales.

- Procesamiento y recuperación de materiales: En esta etapa, se procesan materiales para prepararlos para la venta. Incluye desde procesos mecánicos relativamente simples, como la trituración y molienda de plásticos, o la cizalla de metales, hasta procesos de refinación para retirar impurezas y toxicidad de los materiales separados y clasificados previamente. Cada material requiere tratamientos diferentes. La refinación puede requerir el uso de tecnologías complejas o sustancias que pueden ser peligrosas. El ciclo se cierra cuando se llega a la obtención de la materia prima secundaria y, finalmente, se vende y reinserta en la industria.

- Trazabilidad: Son procedimientos que permiten conocer el histórico, ubicación y trayectoria del RAEE a lo largo de todo su procesamiento. Para garantizar una correcta gestión y dar cuenta de la trazabilidad sobre el tratamiento realizado, es importante el registro y pesaje de todo el material a la entrada y a la salida de la planta, para asegurar el “balance de masas”; es decir, demostrar que las toneladas que entran se encuentren compensadas con las que salen.

#### **4 Componentes básicos de algunos AE**

**Computadoras:** Computadores personales de escritorio (CPU sin periféricos), computadores personales portátiles y servidores. Componentes que pueden tener sustancias peligrosas: Tarjetas de circuito impreso (TCI), Condensadores grandes (sólo en equipos antiguos), Componentes con mercurio (servían como elemento de contacto y como interruptores para la técnica relé), Pequeñas pantallas de LCD, Baterías de respaldo. En

particular computadores muy antiguos pueden contener grandes baterías de ácido-plomo o baterías de gel-plomo en la parte posterior del equipo. Los computadores portátiles se incluyen dentro de esta categoría, sin embargo, son un caso especial puesto que tienen adjunta la pantalla LCD. Despiece: Para equipos portátiles, como notebooks, cuya pantalla se encuentra integrada, primero se debe separar la pantalla de manera cuidadosa para evitar que se rompan los tubos fluorescentes delgados y delicados que se encuentran en el borde superior e inferior de la pantalla. Para esto se debe remover en el siguiente orden: carcasa, fuente de poder, discos, TCI. Luego identificar y remover condensadores grandes, componentes con mercurio (switches), pilas y baterías y pequeñas pantallas LCD y LED. Materiales valiosos: son el hierro/acero de las carcasas de metal y de partes del marco, aluminio de los disipadores de calor, cobre que se encuentra en las TCI y sus componentes. Las TCI contienen una serie de metales preciosos como oro, plata, platino y paladio dentro de los contactos y los materiales conductores. Otros residuos: En los computadores, los plásticos se utilizan por lo general solamente como tapas frontales, en la parte delantera del equipo. Las piezas de plástico pueden ser recuperadas enteras a partir del desensamble manual del equipo o en forma granulada después del desensamble mecánico.

**Periféricos de las computadoras:** se utilizan sobre todo en oficinas y hogares. El acelerado cambio tecnológico resulta en una vida útil relativamente corta de este tipo de equipos electrónicos. Gama de aparatos: Grabador de CD, Unidad de CD, Unidad de DVD, Mouse, Módem, Fuente de poder, Plotter, Escáner, Teclados. Componentes que pueden tener sustancias peligrosas: Pantallas LCD, Tarjetas de circuito impreso, Condensadores electrolíticos grandes (en equipos, escáneres y plotters antiguos). Tubos fluorescentes (en escáneres). Despiece: para esto se debe Controlar si el periférico es inalámbrico, Sacar pilas y baterías, Abrir el equipo, identificar y extraer condensadores grandes y pilas de respaldo, Sacar los tubos fluorescentes de los escáneres, Identificar y extraer pantallas LCD y LED (si se encuentran). El desensamble puede ser manual o mecánico, parcial o completo. La prioridad está en la separación y recuperación de los materiales aprovechables. Materiales valiosos: metales ferrosos y no ferrosos, plásticos, tarjetas, cobre (en TCI de mouses y teclados) y otros componentes. Otros residuos: En los periféricos de las TCI se encuentran todo tipo de plásticos de diferentes características y calidades. También se pueden encontrar mezclas metal-plásticas que no se pueden separar fácilmente. Para estos materiales se recomienda la trituración mecánica con separación posterior.

**Equipos con tubos de imagen:** Los monitores de este tipo ya no se ven, sólo en mercados de segunda. Sin embargo, se estima que por hasta 20 años más estos monitores seguirán apareciendo como monitores en desuso. Gama de aparatos: Televisores (TRC), Monitores de computador (TRC), Otros monitores (TRC). Componentes que pueden tener sustancias peligrosas: Tubos de rayos catódicos TRC, Tarjetas de circuito impreso TCI (varias instaladas en un bastidor de metal), Condensadores grandes, Pantallas LED o LCD, Getterpills (se encuentran detrás del cañón de electrones o en el cono), Baterías de respaldo. Despiece: Destornillar la parte trasera de la carcasa, Abrir el "chasis de TCI" (varias TCI montadas en uno o varios bastidores de metal), Airear el tubo, Sacar el cañón de electrones del cuello del tubo, Separar los "getterpills" del cañón de electrones y guardarlos por separado, Desmantelar el cable envolviendo el tubo de rayo catódico y guardarlo por separado, Desmontar las TCI y retirar componentes como condensadores grandes y pantallas LCD, Desatornillar y sacar el tubo de rayo catódico, Quitar otras unidades como parlantes, componentes de control, etc., Separar las diferentes partes de la carcasa, Las válvulas termoiónicas en televisores viejos deben ser desmontadas ya que Metales de calidad superior pueden ser recuperados de estos tubos. Materiales valiosos: cobre (del yugo de deflexión, TCI, cables), acero aleado con níquel de calidad superior (Cañón de electrones), vidrio del tubo de rayo catódico, metales ferrosos y no ferrosos de bastidores, aluminio de elementos

del bastidor y de refrigeración. Otros residuos: En los monitores y televisores se encuentran partes de plástico y de madera. Frecuentemente, los plásticos son tratados con retardantes de llama bromados y por lo tanto necesitan un manejo posterior adecuado. También se pueden encontrar mezclas metal-plásticas que no se pueden separar fácilmente. Para estos materiales se recomienda la trituración mecánica con separación posterior.

**Equipos con pantallas planas:** En los últimos años, las pantallas planas se pueden encontrar en una gama creciente de aplicaciones y dispositivos como computadoras, televisores o celulares. Gama de aparatos: Pantallas de computadoras portátiles, de computadoras fijas, de televisores, Pequeñas computadoras didácticas, Pequeñas computadoras de videojuegos. Componentes que pueden tener sustancias peligrosas: Pantallas LCD de todos tamaños, Tarjetas de circuito impreso (difíciles de desensamblar dado el tamaño pequeño de los dispositivos), Baterías (pueden ser de níquel-hidruro metálico, de iones de litio). En computadores didácticos y de entretenimiento se encuentran más bien pilas o baterías recargables que se ubican en los respectivos compartimentos. Despiece: Examinar las TCI y extraer posibles contenidos de componentes peligrosos, Extraer las pilas, baterías de los compartimentos correspondientes, Desensamblar el resto del equipo, teniendo en cuenta que debido al tamaño pequeño de los aparatos esto muchas veces resulta difícil y lleva mucho tiempo. Materiales valiosos: metales preciosos contenidos en las diferentes tarjetas de circuito impreso. Algunas veces también se pueden encontrar componentes con alto contenido de cobre, partes de aluminio y de metales ferrosos. Otros residuos: Por lo general contienen un alto porcentaje de plásticos que son tratados con retardantes de llama bromados y por lo tanto necesitan un manejo posterior adecuado.

**Impresoras:** son clasificadas por los métodos de impresión subyacentes que emplean; numerosas tecnologías han sido desarrolladas estos años. Gama de aparatos: Impresora láser, Impresora de matriz de punto, Impresora térmica, Impresora de inyección de tinta. Componentes que pueden tener sustancias peligrosas: Tarjetas de circuito impreso, Condensadores electrolíticos grandes, Tubos fluorescentes y pantallas LCD. En impresoras muy antiguas se pueden encontrar condensadores con PCBs. Despiece: Abrir el equipo y desensamblarlo hasta encontrar la tarjeta de circuito impreso, Identificar y extraer los condensadores grandes (fuente de poder/tarjeta), 3. Sacar las pilas de respaldo y las baterías, Sacar los tubos fluorescentes, Sacar tóner y cartuchos, Sacar posibles pantallas LCD. Materiales valiosos: en general contienen metales ferrosos y no ferrosos en las carcasas. Muchas veces estos metales se emplean junto a fracciones de plástico. La separación de los metales y los plásticos se realiza a través de un procesamiento mecánico. Otros residuos: por lo general tienen carcasas, coberturas y tapas de plástico. También se pueden encontrar mezclas metal-plásticas que no se pueden separar fácilmente. Para estos materiales se recomienda la trituración mecánica con separación posterior.

**Celulares:** Con el avance tecnológico y las exigencias de los consumidores su vida útil se disminuye continuamente, haciendo que los celulares presenten la fracción de los RAEE que más crece. Gama de aparatos: Celulares, Terminales de mano o portátiles, PDA (agenda electrónica de bolsillo), Buscapersonas, beeper, Aparatos de radio. Componentes que pueden tener sustancias peligrosas: Pantalla LCD o LED, Baterías y Tarjetas de circuito impreso. Despiece: Sacar y separar los componentes mencionados (pantalla LCD/LED y TCI), Descontaminar la TCI si contiene componentes con sustancias peligrosas. Materiales valiosos: cobre en TCI descontaminadas. Otros residuos: Las carcasas por lo general son de plástico que muchas veces contienen retardantes de llama.

#### **Componentes que pueden contener sustancias peligrosas**

**Tubos de imagen:** El objetivo principal es la remoción del recubrimiento. Adicionalmente, si el vidrio se recicla, hay que separar las partes del vidrio con plomo de las partes sin plomo.

El nivel de desensamblaje de los TRC depende de los requerimientos del uso final. Por ejemplo, para poder suministrar los vidrios a un gestor es necesario que los vidrios con contenido contaminantes sean separados de los sin contaminantes y que luego no sean contaminadas por otras sustancias. Pero para suministrar los vidrios a una planta de fundición esta separación no es necesaria. La composición química del vidrio de la pantalla y del vidrio del cono se distingue por los diferentes requerimientos técnicos. El del cono contiene óxido de plomo con el fin de absorber la radiación de alta energía, que es generada dentro del cono. En el de la pantalla, el óxido de plomo se reemplaza por óxido de bario y óxido de estroncio ya que el vidrio con óxido de plomo cambiaría de color. El porcentaje de plomo varía entre 13% y 23% dependiendo del ángulo de apertura y la receta de vidrio del productor. El vidrio de pantalla contiene aproximadamente 13% de bario y no contiene plomo. En el vidrio del tubo de imagen el plomo está integrado en la matriz y no representa un peligro inmediato. Al moler o triturar el vidrio en granulados finos, el plomo puede ser liberado y dispersado durante un procesamiento posterior (fundición de plomo o de cobre), es por eso que estos procedimientos deben realizarse dando cumplimiento a los estándares ambientales. Durante la producción de los tubos de imagen de color, el recubrimiento de la pantalla se aplica en tres componentes individuales. Para los colores rojo, verde y azul se utiliza sulfuro de zinc, sulfuro de cadmio y compuestos de itrio y de europio. En los tubos de imagen blanco-negro se registra una gran parte de sulfuro de cadmio. El vidrio de los TRC puede ser reutilizado en la producción de nuevos tubos. Sin embargo hay dos problemas relacionados con este aprovechamiento. Primero, hoy en día casi no se producen monitores TRC. Segundo, no existen producciones de monitores en muchos países, por lo que el vidrio tendría que recorrer grandes distancias. Otro material interesante es el níquel-acero de alta calidad de las partes metálicas del cañón de electrones. Se recomienda su separación y su tratamiento mecánico.

**Pantallas de cristal líquido:** Utilizadas desde hace mucho tiempo en calculadoras y relojes digitales, hoy en día las pantallas de cristal líquido (LCD) han reemplazado en su mayor parte los televisores y monitores de tubo de rayo catódico y se utilizan también en portátiles. En el futuro existirá un número elevado de pantallas de cristal líquido en desuso. Deben ser recolectadas y manejadas por separado. El desensamble de pequeñas pantallas de cristal líquido muchas veces representa un problema ya que están pegadas a la carcasa del aparato. Por el gasto de trabajo excesivo y desproporcionado, se define que únicamente las de tamaño mayor a 20 x 30 mm deben ser desensambladas. Los pasos principales del desensamble son: desensamblar la pantalla del marco plástico y posteriormente quitar cuidadosamente los tubos fluorescentes. Estos tubos por lo general son largos, delgados y delicados. En las pantallas de cristal líquido planas está montada una lámpara fluorescente con mercurio para la iluminación del fondo. Se considera un residuo peligroso. Entre los materiales valiosos, cada pantalla contiene aproximadamente 1g de indio. Este se utiliza entre los dos vidrios envolviendo los cristales líquidos con una capa transparente de óxido de indio y zinc. La producción mundial de indio puro, que es requerido para la fabricación de las LCD, es pequeña y está vinculada a la minería de zinc.

**Tarjetas de circuito impreso (TCI):** Son un medio para sostener mecánicamente y conectar eléctricamente componentes electrónicos a través de rutas o pistas de material conductor, grabados desde hojas de cobre laminadas sobre un sustrato no conductor. La mayoría están compuestas por entre una a dieciséis capas conductoras, separadas y soportadas por capas de material aislante (sustrato) pegadas entre sí. Las capas se conectan a través de orificios, llamados vías que pueden ser electro recubiertos o se pueden utilizar pequeños remaches. Los circuitos impresos de alta densidad pueden tener vías ciegas, que son visibles en sólo un lado de la tarjeta, o vías enterradas que no son visibles en el exterior. Como materiales valiosos contienen hierro y partes de metales no ferrosos como aluminio y cobre. Además, las TCI de gran calidad pueden contener metales nobles como oro, plata, platino y paladio.

Estos materiales son separados por un tratamiento mecánico (trituración) y posteriormente se concentran a fracciones puras de los metales correspondientes para el reuso. Sin embargo, debido a que los aparatos en el sector de la electrónica son cada vez más pequeños, se utilizan menores cantidades de metales no ferrosos y preciosos, de manera que el contenido de alto valor económico en estos dispositivos está disminuyendo constantemente.

**Plásticos:** Representan un gran porcentaje en los componentes de los diferentes tipos de RAEE, y por lo tanto es importante que se reciclen; aunque el gran número de diferentes tipos de plásticos es un gran desafío. En su reciclaje, la calidad del material por lo general desmejora y mucho más, si se mezclan varios tipos del mismo; por lo tanto, el punto esencial del reciclaje es la identificación y separación de los diferentes plásticos según su composición, así como la remoción de aquellos que puedan contener sustancias peligrosas como retardantes de llama bromados. Se distinguen dos clases: termoplásticos y termoestables. En general, un termoplástico se funde si es calentado y se endurece si se enfría; por el contrario, un plástico termoestable es un polímero infusible e insoluble. Lo importante en cuanto al reciclaje, es que los termoplásticos representan un material con alta demanda si se reciclan de manera adecuada, mientras que los plásticos termoestables sólo pueden ser triturados y utilizados para productos inferiores como aislantes o estibas. La mayoría de los plásticos que son utilizados en los RAEE son termoplásticos, con excepción de las resinas epoxi. Los plásticos por sí mismos no representan un riesgo de toxicidad. Pero varios aditivos que cambian las propiedades de los mismos pueden causar un riesgo ambiental.

## 5 Legislación sobre RAEE

En [6, 7] se realiza un relevamiento sobre el marco legal en el ámbito internacional, nacional y local acerca de la gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. De este relevamiento surge la necesidad de una ley nacional para unificar criterios en todo el país, aportar definiciones claras, prohibir el desecho junto con otros residuos y regular la gestión integral de RAEE con el fin de prevenir y minimizar su generación. La existencia de normativas jurisdiccionales sobre RAEE y la inexistencia de un marco normativo nacional conlleva un cierto riesgo para la localización de las inversiones en los distintos distritos. Además la normativa existente en las jurisdicciones es incompleta y ninguna incorpora el principio de Responsabilidad Extendida del Productor (REP). En los territorios en los que no existe normativa, los RAEE caen dentro de la órbita de la legislación sobre residuos peligrosos, lo que complica y encarece su tratamiento y lo mismo sucede en el tráfico interjurisdiccional de los mismos. Se hace necesaria por tanto una ley nacional para: unificar criterios en todo el país, aportar definiciones claras, prohibir el desecho junto con otros residuos, regular la gestión integral de los RAEE con el fin de prevenir y minimizar su generación, establecer la cadena de valor y la jerarquía en el manejo de los residuos e Incorporar el principio de responsabilidad extendida del productor.

## 6 Conclusiones

El objetivo de este trabajo es evidenciar el impacto de un RAEE “mal tratado” y de todos los elementos que los componen, y del riesgo que implica su mala gestión. Es de suma importancia poder tomar conciencia sobre una gestión adecuada de los mismos creando incentivos para desarrollar a los Gestores de estos residuos, exigiéndoles vía normas y reglamentaciones, la adopción de buenas prácticas ambientales y una producción más limpia;

reconvertir a cartoneros y chatarreros en gestores profesionalizados de RAEE; involucrar a los operadores de residuos urbanos o peligrosos en esta nueva corriente de desechos y promover a Universidades y Centros de Investigación para desarrollar soluciones tecnológicas. También es importante: Concientizar a toda la sociedad mostrando lo que es comprar algo nuevo por no querer arreglar lo que tenemos; Dimensionar el impacto ambiental y económico que esto conlleva; Incentivar o maximizar el uso de material reciclado como insumo de nuevos procesos en una economía circular. Es hora de adoptar políticas e incentivos para innovar en nuevas prácticas ambientales y en tecnologías, así, en lugar de enterrar o quemar materiales, se puedan recuperar, valorizar y exportar al mercado. Una iniciativa para ayudar a resolver esta problemática es la implementada por el Nodo TAU que puso en marcha desde abril de 2019 en la ciudad de Rosario, una Planta de Gestión de Residuos Informáticos.

## Referencias

1. Fernández Protomastro, G. Minería Urbana y la Gestión de los Residuos Electrónicos. 1a ed. CABA: Grupo Uno. 317 p. ISBN 978-987-29862-1-6. Argentina (2013)
2. Página web Nodo TAU. Consultado 09/12/2021. Recuperado de: <https://tau.org.ar/>
3. Página Global Waste. Consultado 22/02/2022. Recuperado de: <https://globalewaste.org/statistics/country/argentina/2019/>
4. Fernández Protomastro, G. Buenas Prácticas para la gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. 1a ed. CABA: Grupo Uno. 178 p. ISBN 978-987-29862-3-0. Argentina (2014)
5. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación (2020) Gestión Integral de RAEE (1a ed.). CABA: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación
6. Rodríguez, E., Burzacca, L., Deco, C., Bender, C., & Costa, S. (2020). Búsqueda y recopilación de información sobre legislación referida a residuos informáticos. In XXII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2020, El Calafate, Santa Cruz).
7. Ruzzo, A., Rodríguez, E., Costa, S., Burzacca, L., Deco, C. Recopilación y Análisis de Legislación sobre Residuos Informáticos. In 51 JAIIO SID Simposio Argentino de Informática y Derecho. CABA. Argentina (2022)