

Sistema de gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Enfoque de dinámica de sistemas

Management system of waste electrical and electronic equipment. System dynamics approach

Luz-Angélica. Rodríguez B.^a, MSc., Nicolás González E.^a, MPA., Ing., Lorena S. Reyes R.^b, Ing(c)., Andrés F. Torres R.^b, Ing(c).

^a Profesor, ^b Estudiantes. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

angelica.rodriguez@escuelaing.edu.co, nicolas.gonzalez@escuelaing.edu.co,

lorena.reyes@mail.escuelaing.edu.co,

andres.torres-r@mail.escuelaing.edu.co

Resumen— El mundo evidencia un crecimiento de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, RAEE, como consecuencia del continuo avance tecnológico, los precios cada vez más asequibles y el comportamiento del consumidor. Este artículo presenta un modelo que simula la situación actual del sistema de gestión de residuos para el caso de televisores en Bogotá. Dicho modelo integra variables que describen la problemática y agentes que influyen dentro del sistema de gestión de RAEE de televisores. El objetivo del estudio es determinar el comportamiento del sistema teniendo en cuenta diferentes políticas y acciones de los actores involucrados, las cuales se analizan bajo diferentes escenarios.

Palabras Clave— RAEE, AEE, Dinámica de Sistemas, Gestión Integral.

Abstract— The world is experimenting a growth of waste electrical and electronic equipment, WEEE, as a result of continuous technological progress, increasingly affordable prices and consumer behavior. This article presents a model that simulates the current situation of Bogotá's waste management system in the case of TV sets. This model includes variables that describe the problem and actors involved in the WEEE management system televisions. The aim of this study is to determine the behavior of the system taking into account policies and activities of the actors involved, which are analyzed under different scenarios.

Keywords— WEEE, EEE, System Dynamics, Integrated Management.

1. INTRODUCCIÓN

Los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, RAEE, tienen un crecimiento mayor al de los residuos sólidos urbanos, en gran parte debido al elevado y creciente consumo de los mismos. Su crecimiento se debe a varios factores como: introducción de nuevas tecnologías, obsolescencia programada, obsolescencia percibida, mayor poder adquisitivo o el acceso al crédito, entre otros. En Colombia la introducción de nuevas tecnologías ha generado un aumento en ventas. Por ejemplo. Las ventas de los televisores aumentaron en un 40% en el 2004. Aun cuando al año siguiente descendieron, el comportamiento refleja un crecimiento sostenido. Lo anterior conlleva a que los consumidores quieran reemplazar su AEE (Aparatos Eléctricos y Electrónicos) por uno nuevo o desplazar el existente a otro lugar de la casa.

Existen varias clasificaciones de los RAEE. En el 2002 la Directiva de la Unión Europea los divide en 10 categorías (1). Otra clasificación contiene un código por colores: línea blanca, línea marrón y línea gris. Las 3 líneas resultaron de los colores corrientes de los aparatos que pertenecían a la línea correspondiente, por ejemplo en la línea blanca están las neveras, lavadoras; en la línea marrón están equipos de consumo de audio y video como televisores, equipos de sonido y video y la línea gris o línea de tecnologías de comunicaciones donde están equipos de oficina

como: computadores, celulares, impresoras, entre otros. No obstante, de acuerdo al diseño de los productos que se ha desarrollado, algunas veces los aparatos no se pueden clasificar por su color. Latinoamérica propone 5 categorías de acuerdo al reciclaje de la siguiente manera: 1. Aparatos que contienen refrigerantes, 2. Electrodomésticos grandes y medianos, 3. Equipos de iluminación, 4. Equipos con monitores y pantallas, 5. Otros AEE, (2). Estas clasificaciones dejan ver la complejidad y variedad de AEE existentes y la dificultad que trae su disposición final.

La disposición de los RAEE se ve enfrentada a dos retos mayores: por un lado, lograr el mayor aprovechamiento de los materiales que se pueden recuperar de estos; y por otro lado, el manejo correcto de sustancias peligrosas, para garantizar el menor impacto a la salud y al ecosistema. Sin embargo, los materiales que son más apreciados son los metales preciosos por su alto valor en el mercado, como lo son: oro, platino, paladio y los materiales especiales como el indio, selenio, telurio, tantalio, bismuto y antimonio, (3). En consecuencia de lo anterior surgen canales de reciclaje formal e informal. Los primeros promovidos por el gobierno con el objeto de alcanzar dichos retos, en el cual se tiene una estructura organizacional y económica definida y de otro lado el reciclaje informal, que busca dar medios de sustento a los recicladores, la cual, no está económicamente reglamentada. En Colombia y específicamente en Bogotá D.C., se dan iniciativas voluntarias para disposición de los RAEE apoyadas por el gobierno. Pero, también se da reciclaje informal de RAEE, más aun cuando es a través de la población recicladora que se recupera el 8% de los materiales que se reciclan de los residuos sólidos urbanos, mientras que la iniciativa gubernamental a través de rutas selectivas de reciclaje recupera el 0,5%. (4).

De acuerdo con el Programa de Naciones Unidas del Medio Ambiente, PNUMA, Colombia se encuentra en el Grupo C, porque su sistema formal de reciclaje apenas se está desarrollando, además la recolección, desmantelamiento y aprovechamiento de materiales no ocurre a gran escala. Los otros grupos son: Grupo A o países con un sistema de reciclaje formal y Grupo B, países que reciben RAEE de forma ilegal. (5).

Colombia tiene avances específicos en el tema de RAEE. A nivel de legislación esta la Resolución 1512 de agosto de 2010, por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Computadores y/o

Periféricos y se adoptan otras disposiciones. Además, la Red de Seguimiento, Evaluación y Sistematización en América Latina y el Caribe, RELAC realizó en 2011 una propuesta de los lineamientos para la gestión de los RAEE en Latinoamérica. En ésta, se dan recomendaciones generales, técnicas y normativas, pero sitúa a los RAEE en la categoría de residuos especiales más no peligrosos. (2). Asimismo se han impulsado diferentes programas postconsumo, apoyados en el principio la responsabilidad extendida del productor, REP. En el tema de RAEE para computadores existe una iniciativa exitosa que es la de computadores para Educar, la cual funciona desde el año 2000 y su propósito es reducir la brecha digital y de conocimiento a través del acceso, uso y aprovechamiento de las tecnologías de la información y las comunicaciones en las comunidades educativas, (6). Pero dicha iniciativa, se centra en extender la vida útil del aparato y no es responsable de retomar el equipo cuando cumple su vida útil, dejando RAEE en los lugares apartados donde el programa funcionó. Otras iniciativas o campañas son las relacionadas con celulares, que desde 2007 buscan la gestión ambientalmente segura de los residuos del subsector de telefonía móvil; la retoma de tóner y cartuchos usados; la retoma de nevera, y retoma en general de RAEE. Estos han sido programas muchas veces liderado por la industria y el gobierno, (7). Un programa de recolección es Ecolecta, el cual está ubicado en almacenes de cadena, al final de cada mes recibe los RAEE que quieren entregar los ciudadanos y estos son dispuestos por la empresa Lito S.A.

Como se evidencia, el Sistema de Gestión de RAEE tiene tantos actores involucrados y relaciones entre los mismos, que se decidió empezar a modelar el sistema para los televisores. Los televisores reúnen diferentes características que los hace representativos para exponer el comportamiento del Sistema de Gestión RAEE: 1. Es el AEE con mayor penetración en los hogares colombianos, 95% en 2011. 2. Tiene materiales peligrosos y aprovechables, 3. Hubo cambio tecnológico cambiando los Tv de tubos de rayos catódicos, CRT, por las pantallas planas (plasma, LCD y LED), 4. El número promedio de televisores por hogar en Colombia ha pasado de 2,5 en 2008 a 3 en 2012, 5. Se espera que se recolecte 0.2 kg/año por persona en 2011 y que se incremente a 0.35kg/año por persona en 2019. (8). Otros estudios que se han hecho también determinan que el televisor tiene la mayor participación en los RAEE, que se generarán 40.000 toneladas en 2018 y constituye el RAEE

con alto potencial contaminante junto con las neveras. (9).

2. ESTADO DEL ARTE DE DINÁMICA DE SISTEMAS EN RAEE

Varias son las aplicaciones de dinámica de sistemas a los sistemas de gestión de residuos RAEE. La aplicación de estrategias ambientales específicamente en: Legislación ambiental, ciclo cerrado en la cadena de suministro y diseño para el ambiente, muestran un aumento en la cantidad de recursos naturales que no se explotan, disminución en la cantidad de productos que se disponen y un aumento en la ganancia total de la cadena de suministro, (10). Otro estudio evalúa el impacto que tiene la legislación sobre la conservación de los recursos naturales y rellenos sanitarios, concluyendo que se requiere medidas legislativas para garantizar niveles de reciclaje, la reciclabilidad de los productos y el contenido de materiales reciclables en los mismos, (11). En otro documento se evalúa el impacto que tienen los recicladores informales en el sistema formal cuando se consideran 3 medidas legislativas: ignorarlos, colocarles barreras o incluirlos dentro de los sistemas formales. Siendo esta última opción la que muestra mejor sostenibilidad en los ámbitos económicos sociales y ambientales, (12).

En cuanto a la vida útil, la reducción de ésta para los dispositivos eléctricos y electrónicos, especialmente los relacionados con las TIC como computadores y celulares, ha convertido la gestión de RAEE en un reto global. Ya que los países en vías de desarrollo son destinatarios de los residuos recibidos de los países desarrollados con la excusa de cerrar la brecha digital, (13).

Con el propósito de recuperar la mayor cantidad de materiales del reciclaje de teléfonos celulares obsoletos, el sistema es estudiado para alcanzar mayor efectividad, concluyendo que la tasa de recolección se debe incrementar, así como la cantidad de material que se debe recuperar en el reciclaje, especialmente en países en vía de desarrollo, (14). Así mismo dinámica de sistemas es utilizado para conocer si es posible recuperar más materiales del proceso de reciclaje, a través de proceso de ciclo cerrado, (15).

En otro documento se evalúa como reducir el tiempo de almacenamiento en los centros de tratamiento y como incrementar el material reciclado, mediante mejores prácticas e introduciendo otro canal de la recolección como son los supermercados, (16).

De otra parte, el tema de la legislación y reglamentación de los RAEE es motivo de discusión actualmente al interior de los países de América Latina. Todavía no es muy claro el camino a seguir y su clasificación, aunque el Convenio de Basilea pareciera acogerlos en el marco de sus desarrollos técnicos e inclusive dentro de algunas de las corrientes de residuos presentes en sus listados.

Con el paso del tiempo los países han ido elevando el nivel de exigencia de las normas que controlan el manejo de los residuos peligrosos, lastimosamente, muchas de estas normas se han emitido después de que han ocurrido incidentes ambientales que implican la muerte de muchos seres humanos, la contaminación (a veces irreversible) de los recursos naturales o la devastación de grandes zonas, (17)

Las aplicaciones en otras áreas son múltiples como por ejemplo modelos en: tráfico de una ciudad, abastecimiento de agua, prevención de enfermedades coronarias, gestión de residuos sólidos urbanos, estos últimos analizados con mayor detalle. Adicionalmente el enfoque de los modelos varía, ya que los parámetros y las consideraciones específicas bajo las cuales se desarrollan son propios de cada uno.

Para el diseño y el planteamiento de modelos, existen diferentes marcas de software de amplio uso en las aplicaciones prácticas de dinámica de sistemas; entre las más usadas se encuentran: 1. Ithink: tiene funcionalidades específicas para aplicaciones en economía y gestión de empresas, dada su disponibilidad académica se optó por su uso para la obtención del modelo final y consecución de los objetivos planteados en la investigación. 2. Vensim: es el software más completo y versátil que existe en la creación de modelos de Dinámica de Sistemas, permitiendo cubrir todas las áreas propias de la modelización, desde los modelos más sencillos a los más complejos. Otros software usados son: Professional Dynamo, Powersim studio y Stella&I-Think.

3. MODELO

3.1 MÉTODO

Dada la complejidad de la situación a modelar, debido no solo a la multiplicidad de factores, sino también a las interrelaciones entre ellos, dinámica de sistemas se convierte en la herramienta más adecuada para estudiar los RAEE por varias

razones: 1. Este método permite adicionar muchas variables y relaciones (lineales, no lineales y con retardos) entre ellas para poder entender un fenómeno particular. No está limitado a un número fijo de variables ni de relaciones, y por tanto puede representar situaciones complejas. 2. Permite realizar análisis de políticas, a través de diversos escenarios, en los que permite entender el comportamiento del sistema ante una alteración (establecida a través de una o varias políticas) a alguna de sus variables.

En el caso particular de este documento, se trata de ejemplificar los flujos y stocks de los televisores, por tecnología, que terminan siendo RAEE y materia prima de otras industrias. Estos residuos contribuyen a la acumulación de contaminantes peligrosos, que sin un debido tratamiento, pueden generar un impacto negativo al medio ambiente y a la salud. Sin embargo, las políticas que rigen estos flujos son variadas y es precisamente una visión holística la que puede proporcionar una perspectiva amplia y completa del comportamiento de estas sustancias.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El objetivo del modelo es lograr entender el comportamiento de gestión de los RAEE bajo la perspectiva de diversas políticas. El modelo recoge una gran diversidad de variables relacionadas entre ellas, lo que permiten describir, reproducir y analizar el manejo de los RAEE en la ciudad de Bogotá.

El modelo propuesto está enfocado en la disposición final de los AEE con el fin de proponer un sistema de gestión que logre la mayor recuperación de materiales en canales formales para evitar los impactos negativos de la mala disposición de los mismos. El modelo consta de variables que describen el flujo físico del proceso de transformación del televisor desde nuevo hasta convertirse en un RAEE. Así mismo se determinaron variables que plasman la cultura de la población bogotana con el fin de entender la importancia y dinámica que tiene el televisor dentro de los hogares y lo que pasa cuando este ha cumplido su ciclo de vida.

En la **Figura 1** se muestra el diagrama causal, el cual permite visualizar las diferentes variables y sus relaciones. El listado de variables y su descripción se encuentran en el **Anexo 1**.

El flujo físico del modelo empieza desde la producción e importación de televisores que se introducen en el mercado para ser comprados por

un hogar que desea adquirir o cambiar su televisor, ya sea porque se cumplió el ciclo de vida o por deseo de actualización de tecnología. Cabe destacar que el ciclo de vida es el tiempo esperado de funcionamiento óptimo del televisor, este tiempo también es conocido como la obsolescencia programada que es determinada por el fabricante. Un fenómeno particular en la sociedad es que la obsolescencia percibida, la cual es el tiempo que un hogar considera necesario para hacer un recambio de su televisor sin importar que este aun sirva, prima sobre la obsolescencia programada. El televisor reemplazado se desplaza a otro hogar o es almacenado por largos periodos de tiempo ocasionando un retardo, ya que permanece dentro de la cadena como televisores usados, hasta que se convierte en RAEE, momento en que se hace entrega a uno de los canales de recolección, bien sea formal o informal.

Una de las variables más críticas es la tasa promedio de renovación o frecuencia de recambio, la cual está determinada por: 1. Precio de compra, 2. Poder adquisitivo y a su vez la tasa de crecimiento del mismo, 3. Facilidad de créditos y financiación para adquirir bienes, 4. Tasa de penetración de la tecnología, 5. Costo de reparación, ya que si este supera el 30% del precio de un televisor nuevo actual, éste preferirá renovar.

La recolección formal es realizada por empresas certificadas y la recolección informal la realizan recicladores mejor llamados recuperadores u organizaciones no autorizadas para la manipulación de estos residuos. Dichos canales difieren de la tecnología usada y el nivel de aprovechamiento de los residuos, ya que los canales informales hacen el desensamble y la recuperación de manera manual, así mismo los componentes peligrosos que no son recibidos por las bodegas de recuperación o intermediarios son dispuestos en la calle para que las empresas de aseo lo lleven al relleno. El manejo y disposición inadecuada genera el impacto negativo en la salud humana y en el ambiente.

En ambos canales el objetivo es la recuperación de materia prima especialmente metales como: cobre, aluminio, y metales ferrosos que terminan en canales formales para ser materia prima de industrias nacionales o exportación. Es así como un porcentaje de los RAEE entran de nuevo a la cadena como materia prima para procesos industriales o para hacer parte de un nuevo televisor fabricado o de otro AEE.

El modelo discrimina por tipo de tecnología con el fin de identificar sus componentes, y conocer cuáles son aprovechables y cuales son contaminantes. Se contemplan dos canales de recolección el formal e informal. El canal de recolección informal maneja el 90% de los RAEE emitidos en Bogotá, el cual solo aprovecha el 10% de los materiales, que son llevados a través de una cadena de varios actores para lograr el aprovechamiento final. El resto de residuos es depositado en el relleno, pues se abandona la pantalla y el cono que contienen plomo para que sea recolectado por las empresas que manejan los residuos ordinarios.

A partir del modelo se identifican las variables que directa o indirectamente afectan el flujo, con el objetivo de visualizar los focos a atacar con el fin de garantizar el mayor aprovechamiento y reducir los impactos negativos del inadecuado manejo de los contaminantes y así determinar políticas para un adecuado sistema de gestión integral. Las políticas que se tuvieron en cuenta son: REP Responsabilidad extendida al productor, REP; Quien Contamina Paga, QCP; Reducir, Reutilizar, Reciclar o 3R; e introducción de legislación, entre otras.

3.3 ANÁLISIS

Basados en el modelo, que se expuso anteriormente, se establecieron una serie de políticas para ver su efecto en el sistema de recolección y disposición de RAEE y el nivel de contaminantes que esto conlleva. Se busca la adopción del principio de responsabilidad extendida del productor/importador y se proponen dos tipos de políticas: restrictivas y estimulantes. Las políticas restrictivas son aquellas que por su naturaleza, impiden o castigan que algún eslabón o agente en el sistema haga algo. Por ejemplo, impuestos gubernamentales por la mala disposición de los televisores, o por el manejo de los contaminantes una vez los televisores se conviertan en RAEE. Por otro lado, las políticas que generan estímulos son aquellas que propenden para que se efectúen una serie de actividades. Por ejemplo, hay políticas para estimular la disposición de televisores, o incentivar el reciclaje formal. Ambos conjuntos de políticas tienen un efecto diferente en el modelo y da luces sobre el tipo de lineamientos que se deben establecer para disminuir el impacto de los contaminantes.

La legislación es el mecanismo por el cual se determinan y establecen las políticas públicas. Las políticas restrictivas incluyen: tributación, multas específicas por la ejecución de actividades particulares, entre otras, mientras que las políticas que generan incentivos son aquellas que motivan variables claves. Por ejemplo, estimulando la tasa promedio de renovación para aumentar ventas, generar incentivos para que la recolección de televisores sea hecha por las empresas y vayan a recicladores formales, donde se recupera una mayor parte de los materiales y se logra un mejor manejo de los elementos contaminantes.

A través de la manipulación de los valores de las variables críticas y bajo el marco regulatorio que se adopte (restrictivo o de estímulos), se generaron una serie de resultados que replican el comportamiento del sistema en el largo plazo. La idea es entonces encontrar la mejor combinación de políticas (high leverage points) que generen puntos de desarrollo y guíen al sistema hacia instancias mayores de progreso y baja contaminación.

3.4 RESULTADOS

Los resultados de las simulaciones realizadas nos permite concluir que debido a la baja participación de la producción nacional en la oferta en el mercado de televisores en Colombia y

Bogotá, sin importar el tipo de tecnología que se seleccione, el bucle de retroalimentación que llega de la materia prima que se recupera a través del reciclaje es muy débil.

Este bucle de retroalimentación que teóricamente es positivo, no está teniendo el efecto pensado.

Adicionalmente, el principal reciclaje preponderante es el informal, lo que significa que la cantidad de material que puede ser aprovechado luego de este proceso es menor que aquel más tecnificado encontrado en el reciclaje formal. Esto significa, que la cantidad de materia prima que se puede recuperar es muy baja, lo que debilita aun más el bucle de retroalimentación que llega a producción nacional para afectar los precios de televisores y así a toda la cadena. Para reforzar este bucle, se necesita de una política que motive la capacitación e incentive procesos de recuperación más tecnificados que fortalezca la producción de nuevas tecnologías utilizando materia prima reciclada.

Otro hallazgo importante radica en la dinámica de los televisores. Los televisores usados sólo se convierten en materiales peligrosos o materia prima en la medida en que se recolecten, bien sea a través de los canales formales o informales. Por tanto, el retardo que sufren los televisores para llegar al proceso de reciclado y convertirse en materia prima lo hacen los hogares, y cualquier política que expanda este retardo va en primera instancia a beneficiar el cúmulo de materiales contaminantes. Sin embargo, esta es una solución de doble filo, dado que eventualmente esta bomba de tiempo explotará, es decir, la acumulación que hacen los hogares de televisores usados tendrán que ser desechos en algún momento, incrementando las cifras de contaminantes.

En la Figura 2. Se muestra el comportamiento de los televisores usados en el tiempo. Vale la pena resaltar que los televisores TRC experimentan un declive luego que pasen los años de la obsolescencia programada o a través del cambio tecnológico, es decir, los hogares desechan los televisores al cumplirse su ciclo funcional. Por otro lado, los cambios tecnológicos que han derivado en tecnologías de televisores plasma y LCD/LED, experimentan un aumento a partir del año 5-6. El declive de éstas empieza más adelante, mientras pasa el tiempo de obsolescencia programada para ellos.

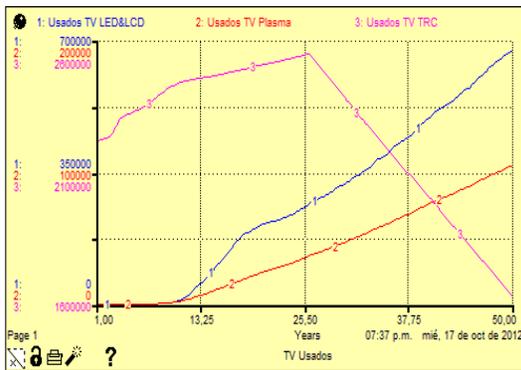


Figura 2. Comportamiento ACTUAL de los televisores usados en el tiempo

Al poner una legislación que afecte directamente el precio de los televisores, independiente de la tecnología empleada, como puede ser un gravamen, la demanda de estos no se disminuye. Es decir, una intervención estatal, que se active de acuerdo a la tasa de material electrónico (televisores) que están recibiendo los rellenos, y que al final se convertirán en elementos contaminantes, no genera ningún cambio sustancial en la demanda debido a que es un bien inelástico en el corto plazo, los incrementos de precios sobre este no afectan. Por otra parte, trasladar el costo del manejo de las sustancias contaminantes al consumidor hace que existe una responsabilidad del mismo, pues dicho costo adicional puede destinarse para la disposición final del RAEE. Cabe resaltar que como se dijo anteriormente la demanda no se ve afectada, pero si los niveles de los televisores usados, es decir, la cantidad de televisores en hogares sin uso disminuye, debido a que la gente desecha su televisor de tecnología antigua y lo reemplaza, lo que conlleva a que no exista inventario de televisores de tecnologías obsoletas. De una u otra manera dicha política desincentiva los inventarios de televisores por largos periodos de tiempo lo que evita oleadas de RAEE en el largo plazo. (Ver figura 3).

No obstante, la implementación de una política de esta índole puede ser difícil y laboriosa en términos prácticos, dado que el impuesto que se debe pagar está acorde a unas mediciones de material que llegan a los rellenos, la cual no solo es en sí difícil, sino también está siendo afectada por múltiples factores.

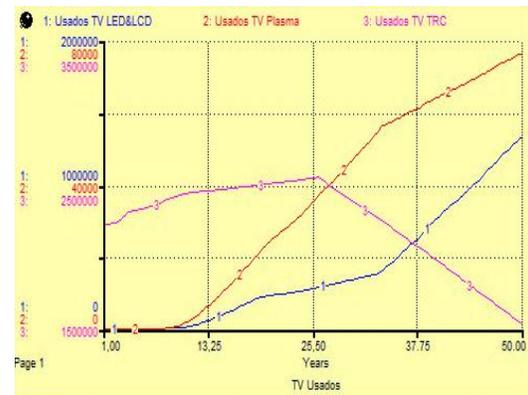


Figura 3. Comportamiento ESPERADO de los televisores usados en el tiempo

Vale la pena mencionar que gran parte de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos no son reciclables en Colombia, debido a la informalidad e inmadurez de esta industria en el país. Por tanto, las políticas de largo plazo que surtirían efecto sobre la cadena serían aquellas que modifiquen, formalicen y desarrollen esta industria, lo cual lograría un mejor aprovechamiento de los materiales reciclados, bien sea en la industria de televisores nacionales (que es más bien poca) o en cualquiera de las otras industrias.

Asimismo, la actual tendencia de recortar la vida útil del producto, dados los avances tecnológicos, hace que se genere una mayor presión en la cadena y en por ende en los materiales contaminantes. Sin embargo, el efecto no es inmediato, ya que los televisores permanecerán en los hogares por un tiempo, aunque cada vez menor. No obstante, la presión de mantener varios equipos electrónicos en las casas aumenta la presión de tener que recolectarlos, por lo que se repite, que las políticas encaminadas en desarrollar el reciclaje formal en el país puede ser la vía para reducir los peligros derivados de las sustancias peligrosas mal manejadas.

Se considera que las mejores políticas serían aquellas preventivas, que inicien desde el diseño del producto. De esta manera, los materiales utilizados en su fabricación, deben contemplar su posterior proceso de reciclado, y con esto, se lograría reducir los costos del manejo de residuos contaminantes y disminuir la cantidad de agentes que intervienen en la cadena.

Como conclusión el escenario en que se considera la capacitación de los recuperadores informales y el gravamen (escenario 2), tiene mejores resultados en temas ambientales y económicos en comparación al escenario en que solo se considera

el aumento del delay de los televisores en los hogares, pues dicha recuperación genera oportunidades de mejora en la salud humana y medio ambiente, además de empleo y mejores ingresos para las personas que realizan dicha labor.

4. REFERENCIAS

- (1) European Parliament. Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). Disponible en línea: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:037:0024:0038:en:PDF> (Consultado: 2012-05-22).
- (2) RELAC. Lineamientos para la gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en Latinoamérica: Resultados de una mesa regional de trabajo público-privado. Disponible en línea: <http://www.residuoselectronicos.net/documentos/110410-documento-lineamientos-para-la-gestion-de-raee-en-la-mesa-de-trabajo-publico-privada.pdf> (Consultado: 2011-11-10).
- (3) Chancerel, P., Meskers, C. E. M., Hageluken, C., & Rotter, V. S. Assessment of Precious Metal Flows During Preprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment. *Journal of Industrial Ecology*, vol.13(5), 2009, pp. 791-810.
- (4) UAESP. Bogotá solo recicla el 0,5 por ciento del material potencialmente reutilizable. Disponible en línea: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-7582527> (Consultado: 2010-04-12).
- (5) UNEP, E-waste Volume inventory assessment manual, 2007. Disponible en línea: http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/spc/EWasteManual_Vol1.pdf (Consultado: 2010-01-18).
- (6) Computadores para Educar. Que es computadores para educar. Disponible en línea: http://www.computadoresparaeducar.gov.co/website/es/index.php?option=com_content&task=view&id=44&Itemid=139 (Consultado: 2012-05-20).
- (7) Ministerio de Ambiente. Gestión de Residuos Posconsumo. Disponible en línea: <http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=1272&conID=7769&pagID=9169> (Consultado: 2012-04-23).
- (8) Rodríguez LA, Estupiñán E, Boons F, (2010). Dealing with electrical and electronic equipment waste in Colombia. The Case of Tv sets. 3Rs and Environmentally Sound Management of Wastes for Achieving Sustainable Cities of the Journal Regional Development Dialogue. United Nations Center for Regional Development, UNEP. Nagoya, Japan. Vol. 31, No. 2, Autumn 2010. Pp 103-122.
- (9) Blaser, F. 2009. Gestión de Residuos Electrónicos en Colombia. Diagnóstico de Electrodomésticos y de Aparatos Electrónicos de Consumo. EMPA, ANDI, CNPML.
- (10) Georgiadis, P. Besiou, M. (2009). Environmental Strategies for Electrical and Electronic Equipment Supply Chains: Which to Choose?. *Sustainability* 2009, 1, 722-733.
- (11) Georgiadis, P. Besiou, M. (2010). The importance of feedback loops designing environmental policies for sustainable development. Aristotle University of Thessaloniki, Department of Mechanical Engineering, Greece.
- (12) Besiou M, Georgiadis P, Van Wassenhore L. (2010). Official Recycling and Scavengers. Symbiotic or conflicting?. INSEAD Social Innovation Center.
- (13) Hoyos, J. Arbeláez C. (2011). Desarrollo y aplicación de un modelo De simulación de un sistema de gestión De residuos de aparatos eléctricos y Electrónicos asociados a las TIC en Colombia para analizar su viabilidad Tecnológica y financiera.
- (14) Bollinger, A-L. (2010). Growing cradle-to-cradle metal flow systems. An application of agent-based modeling and system dynamics to the study of global flows of metals in mobile phones. Thesis MSc Industrial Ecology. Delft University of Technology, Leiden University.
- (15) Glöser, S. (2012). Quantitative analysis of the criticality of mineral and metallic raw materials. Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (ISI). Germany. Poster International Conference of the System Dynamics Society 13th PhD Colloquium of the Student Chapter July 22nd 2012 St. Gallen Switzerland.
- (16) Gallo, M. Romano E, Santillo L. (2011). A Methodological Approach to Manage WEEE recovery systems in push/pull logic. University of Naples "Federico II", Italy. *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*.

(17) Cárdenas, R. Espinosa C. (2009). E- basura: las responsabilidades compartidas en la disposición final de los Equipos electrónicos en algunos municipios del departamento de caldas, Vistos desde la gestión del mantenimiento y los procesos de gestión de Calidad.

5. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

RAEE: Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

AEE: Aparatos eléctricos y electrónicos.

REP: Responsabilidad extendida al productor.

QCP: Quien Contamina Paga.

3R: Reducir, Reutilizar, Reciclar.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por la financiación de este proyecto. Igualmente a la asociación de recicladores informales ASOCRIM, y su líder Maria Teresa Botina por la información suministrada de reciclaje de RAEE.



www.dinamica-de-sistemas.com

Libros

Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



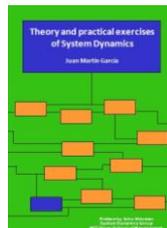
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)