

APLICABILIDAD DE LA EVALUACIÓN DE RIESGOS EN EL MANEJO DE RESIDUOS ELECTRÓNICOS

RISK ASSESSMENT APPLICABILITY IN THE MANAGEMENT OF ELECTRONIC WASTES

MG. MIGUEL ZÚÑIGA CORBETT

Sección Medio Ambiente ASMAR-Talcahuano. Chile

DRA. MARTA FUENTEALBA CRUZ

Facultad de Ciencias Básicas.

Universidad Católica del Maule, Chile.

mfuntea@ucm.cl

RESUMEN

Se realiza un análisis actualizado de la evaluación de riesgos y su aplicación a la gestión de equipos y residuos electrónicos, discutiendo sobre las nuevas normativas aplicadas a nivel mundial, especialmente en la comunidad europea, incluyendo la directivas RAEE, RoHS, EuP, REACH y los modelos de evaluación de riesgos HAZOP, HERA, EUSES. Se propone la utilización de una combinación de metodologías para establecer un método de evaluación de riesgos

más cuantitativo y aceptable, lo que conlleva a la necesidad de tener una mayor experiencia técnica, mejor infraestructura y más recursos para su aplicación. Se sugiere tomar algunos de los conceptos para ser aplicados en la normativa chilena, para definitivamente incorporar la evaluación de riesgos en la toma de decisiones.

Palabras claves: Toxicidad, evaluación de riesgos, equipos y residuos electrónicos.

ABSTRACT

This is an updated analysis of the risk assessment and its application to the management of electronic equipments and waste carried to discuss the new regulations involved worldwide, especially in the European Community, including the RAEE, RoHS, EuP, REACH guidelines and the risk assessment models of HAZOP, HERA, EUSES. The application of combined methodologies is proposed to establish a more quantitative and acceptable risk

assessment method which will lead to the need of having a greater technical experience, better infrastructure and more resource for its application. It is suggested to take on board some of the concepts to be applied in the Chilean regulation so as to definitively incorporate the risk assessment in the decision making.

Key words: Toxicity, risk assessment, electronic equipment and wastes.

INTRODUCCIÓN

La evaluación de riesgos implica la evaluación de información científica relacionada con las propiedades de los agentes ambientales de riesgo y con la extensión de la exposición humana a estos agentes (Zúñiga, 2006; Zúñiga & Fuentealba, 2006). El producto de la evaluación es una declaración relativa a la probabilidad cuantitativa o cualitativa de que la población expuesta sea dañada, y en qué grado.

Los métodos para la evaluación de riesgos han evolucionado uniformemente en las últimas décadas (NRC, 2009, 1994, 1983). El informe de la National Research Council de 1983 describe los pasos para la evaluación de riesgos: una sustancia química que deja una fuente (*v.g.*, instalación industrial) se mueve a través del medio ambiente (*v.g.*, el aire) y tiene como resultado la exposición (las personas respiran el aire que contiene el químico). La exposición determina una dosis en la persona expuesta (la cantidad del químico que entra al cuerpo, la que puede ser expresada de varias formas) y la magnitud, duración y sincronización de la dosis determina la extensión en que las propiedades del químico actuarán en la persona expuesta (el riesgo). De esta forma, la evaluación de riesgos se divide en cuatro pasos analíticos: la identificación de peligros (emisiones), la evaluación de exposición, la evaluación dosis-respuesta y la caracterización del riesgo (Figura 1).

No todas las evaluaciones de riesgo incluyen los cuatro pasos. A veces la evaluación de riesgos consiste solo de una evaluación de peligros diseñada para evaluar el potencial de una sustancia para causar efectos en la salud humana. Otras veces, los legisladores consideran un paso adicional para ranquear la potencia de los químicos, conocido como *ranking* de peligros. A veces, la información sobre la potencia es combinada con datos de exposición para producir un *ranking* de riesgos.

La aplicación de la evaluación de riesgos ha estado sujeta a mucho debate, particularmente debido a problemas relacionados a las incertidumbres y sus supuestos y, por otro lado, a las pocas oportunidades para incorporar información pública en el proceso, lo cual ha sido un factor clave de la desconfianza pública en dicho proceso de evaluación.

Un ejemplo de incertidumbre está relacionado a si los metales y los retardantes de llama bromados presentes en equipos electrónicos tienen efectos significativos sobre la salud humana y el medioambiente (Gattuso, 2005). Según este autor, la directiva de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y la directiva RoHS (Restriction of Hazardous Substances), que prohíben ciertas sustancias peligrosas, no tienen una justificación clara basada en el conocimiento científico o en un análisis de riesgos real, ya que no se ha probado la existencia de riesgos a la salud o ambientales de las sustancias presentes en los equipos electrónicos. Por otro lado, menciona que aún no se conocen sustitutos seguros y efectivos para estas sustancias y que, en muchos casos, los compuestos alternativos son menos eficientes y tienen sus propios riesgos para la salud y el medioambiente.

Otro ejemplo indica que a pesar que el plomo puede lixiviar en los rellenos sanitarios, no se tiene evidencia concluyente de que el plomo utilizado en los equipos electrónicos represente riesgos para la salud humana o para el medio ambiente. En los computadores, el plomo es utilizado no solo en los monitores para proteger a los usuarios de los rayos X, sino que también es utilizado en las soldaduras y en aleaciones de metales de las tarjetas de circuitos impresas. Hasta ahora no se han desarrollado otros sustitutos tan eficientes como las soldaduras de plomo, debido a que este se fusiona a temperaturas relativamente menores que otros metales durante el proceso de soldadura.

En resumen, Gattuso (2005) planteó que actualmente no existe una justificación científica clara para obligar a reciclar los residuos electrónicos, que se exijan estándares de ecodiseño o se prohíban algunos componentes claves

de los equipos electrónicos. La mayoría de las normativas actuales no se han originado a partir de investigaciones científicas o a través de análisis de riesgos serios, sino que se han basado en riesgos no probados a través del principio precautorio. Es por ello que se deben desarrollar normativas que incluyan sus propias evaluaciones de riesgos a la salud humana y ambiental y que entreguen información confiable para los productos electrónicos. Apoyando esta tesis, Ogunseitán *et al.* (2003) indicaron que las incertidumbres asociadas al plomo en la industria electrónica deben ser abordadas y caracterizadas a través de estudios de evaluaciones de riesgos ambientales y de la salud humana.

Se han realizado algunos estudios de evaluación de riesgos humanos y ambientales (Human Environmental Risk Assessment, HERA) para estudiar los efectos sobre los seres humanos y los ecosistemas, que han sido utilizados para tomar decisiones acerca de la gestión de riesgos de procesos o actividades industriales. Los principios de la HERA incluyen la identificación de peligros de las sustancias químicas y la caracterización de los riesgos a través de los análisis de su destino y de sus efectos. El resultado de una HERA puede indicar que el riesgo es aceptable o que se deben implementar medidas para la reducción de la probabilidad de ocurrencia de los eventos o para reducir las consecuencias a un nivel aceptable (UNEP, 2005a). Dentro del campo de la HERA se incluyen las consecuencias sobre humanos y medioambiente de actividades, instalaciones, tecnologías, procesos, sustancias químicas, materiales y/o productos.

Las normativas de la Comunidad Europea están considerando la evaluación de riesgos como el primer paso en el cumplimiento legal y, además, que los requerimientos de seguridad deberían basarse en los riesgos reales representados por los productos. Es así como solo algunos estándares de la Comunidad Europea incluyen los requerimientos de la evaluación de riesgos (por ejemplo, EN ISO 12100 y EN 1050) y, aunque los riesgos han sido identificados en estos estándares, no siempre son tomados en cuenta en la evaluación de un producto.

Una metodología de evaluación de riesgos más avanzada, denominada HAZOP (Hazard and Operability Analysis), evalúa los problemas desde una perspectiva más amplia (HIPAP, 2008). La técnica Hazop ha sido usada y desarrollada por décadas para la identificación de peligros potenciales y de problemas de operatividad causados por desviaciones desde los diseños previamente establecidos, tanto de plantas nuevas de proceso como de las ya existentes. Básicamente, el procedimiento Hazop involucra la descripción completa de un

proceso y de un análisis sistemático de cada parte de este para establecer la posibilidad de desviaciones del diseño original. Una vez identificadas, se realiza una evaluación para indicar cuáles podrían ser las consecuencias negativas de las desviaciones sobre la seguridad y eficiencia de las operaciones. Si fuese necesario, se deben tomar acciones para remediar tales situaciones (EHSC, 2001).

En general, la mayoría de los estándares corrientes no incluyen requerimientos explícitos de la evaluación de riesgos, por lo que se deben realizar las gestiones necesarias para incluirlos y, por otro lado, se ha sugerido que la responsabilidad para realizar las evaluaciones de riesgos debe ser asignada a los fabricantes de productos.

A pesar de la importancia de su aplicación, las directivas RAEE (disposición y reciclaje de equipos electrónicos), RoHS (restricción del uso de sustancias tóxicas) y EuP (ciclo de vida completo e impactos ambientales de energía y materiales), adolecen de la falta de estándares de referencia y de metodologías de diseño y manufactura que incluyan aspectos de la evaluación de riesgos, lo cual es fundamental para aplicar medidas que minimicen los riesgos en todas las etapas del ciclo de vida del producto.

Se ha realizado una crítica importante a la directiva RoHS, debido a que todas las restricciones o prohibiciones sobre el uso de sustancias peligrosas deberían estar basadas en estudios de evaluación de riesgos. Por otro lado, la aplicación de la directiva RAEE debería llevar a una reducción de los riesgos sobre la salud humana y el medioambiente, especialmente en lo relacionado con los métodos corrientes de disposición de residuos electrónicos, por lo que se hace indispensable la aplicación de herramientas adecuadas de evaluación de riesgos, previo a la toma de cualquier medida en la gestión de residuos.

A la fecha, no se han realizado muchos estudios relacionados con la evaluación de riesgos de productos y/o residuos electrónicos o de los componentes o sustancias presentes en estos y, además, existe una serie de confusiones con los resultados obtenidos. Por ejemplo, un estudio realizado para evaluar los riesgos de los retardantes de llama bromados (Deca-PBE y Octa-BDE), por la Comunidad Europea (2002), indicó que estas sustancias no deberían ser de mucha preocupación y por lo tanto no existirían razones para adoptar medidas que reduzcan los riesgos involucrados con estos. Sin embargo, otro estudio de evaluación de riesgos de las mismas sustancias (2006), indicó que existen varios

efectos nocivos que actúan sobre la salud humana y que aún no se conocen claramente sus rutas ambientales.

El presente trabajo es la continuación del trabajo de Zuñiga (2006) y Zúñiga & Fuentealba (2006), donde se presentó un análisis detallado sobre los efectos ambientales de los residuos electrónicos. Aquí se realiza un análisis de la integración de métodos de evaluación de riesgos, especialmente la combinación de evaluación de riesgos con el ciclo de vida de productos electrónicos, presentando un modelo de análisis de riesgos integrado para aportar mayor información sobre los efectos de los residuos electrónicos sobre la salud humana y el medioambiente.

Integración de la ERA con el LCA

Sonnemann *et al.* (2003) publicaron un libro donde plantean la integración de la evaluación del ciclo de vida (Life Cycle Assessment, LCA) con la evaluación de riesgos (Environmental Risk Assessment, ERA) como una nueva herramienta en la toma de decisiones respecto al uso de sustancias químicas (Figura 2). La metodología de integración está basada principalmente en la evaluación del ciclo de vida, incluyendo la fase de definición de los objetivos y alcances y la fase de inventario de las cadenas de procesos industriales. Para la evaluación de impacto, indican varios enfoques para el modelamiento del daño.

Recomiendan realizar evaluaciones de impacto de los procesos, los cuales son los que contribuyen en mayor grado al impacto o daño total. Para suplir este enfoque, sugieren una metodología de evaluación de impacto independiente de los procesos para evaluar la toxicidad humana y también, si es posible, evaluar los impactos sobre los ecosistemas. De esta forma, la integración de la ERA y la LCA puede utilizarse para predecir los impactos o daños en situaciones reales.

Herrchen & Klein (2000) también han sugerido que la ERA y la LCA son enfoques complementarios. La ERA proporciona un aseguramiento de las medidas de seguridad aplicadas a los tipos de químicos utilizados en los productos, mientras que la LCA proporciona un conocimiento total del consumo de materias primas y energía, así como una cuantificación de las emisiones al aire, agua y de residuos sólidos tomando en cuenta todas las fases del ciclo de vida (materias primas, producción, fabricación, transporte, empaque, uso por el consumidor y disposición).

Sin embargo, en muchos casos, para la toma de decisiones se requiere información más detallada de los aspectos temporales y espaciales de la LCA. Por otro lado, el conocimiento científico y el estado del arte de la evaluación detallada de las sustancias químicas no se han implementado aún en forma adecuada.

Una manera de mejorar los resultados de la LCA es el uso complementario de la evaluación de riesgo humana y ambiental (HERA). En la escala local, regional o aún continental y en enfoques de escenarios, la evaluación de riesgos trata de describir y predecir de forma precisa la probabilidad de daño ambiental causado por las sustancias químicas.

Herrchen & Klein (2000) han planteado tres enfoques con la HERA. El primero es básicamente la introducción de un modelo conceptual del ciclo de vida en las metodologías convencionales estandarizadas para la protección de los seres humanos y el medio ambiente. Para cada estado del ciclo de vida de un producto químico se selecciona una herramienta, la que ayuda a resolver los problemas existentes. La selección de la herramienta más apropiada está basada en la experiencia del productor con el producto químico en consideración o en las regulaciones existentes.

Un segundo enfoque que introduce la HERA en el LCA es la posibilidad de combinar en forma iterativa ambas metodologías. La base de tal iteración es la aplicación del método LCA de barrido. Este método de barrido identifica las emisiones peligrosas a través del uso de un sistema de clasificación, que está definido por las propiedades inherentes de las sustancias, reflejando, de esta forma, los peligros de los compuestos emitidos.

Los elementos de tal procedimiento pueden ser tomados desde la Directiva de la Comunidad Europea acerca de la clasificación y etiquetado de sustancias peligrosas, que también ayuda a una descripción de las propiedades inherentes de las sustancias químicas sin la necesidad de tener información de las concentraciones ambientales (Directiva 67/548/CEE). Tomando como referencia la información obtenida en el inventario, se pueden identificar las fuentes de emisiones peligrosas. Basado en lo anterior, se puede realizar una evaluación de riesgos apropiada con referencia a una situación local y temporal específica de las fuentes de emisión. Como una opción futura, se puede realizar una LCA refinada usando la información detallada obtenida en la evaluación de riesgos.

También existen ventajas y desventajas para este enfoque. Primero, tal enfoque iterativo es altamente flexible y puede estar orientado a la definición de objetivos. Por otro lado, el enfoque no debe ser sobredimensionado ni debe ser aplicado en forma inflexible, ya que puede llevar a resultados triviales y producir falta de credibilidad de la LCA.

La forma más elegante de combinar la LCA y la HERA es la integración de ambos métodos, lo que puede realizarse derivando factores de caracterización, llamados *score* de impactos, sobre la base de la evaluación de peligros o de riesgos. Los resultados de tal procedimiento entrega, para cada uno de los compuestos emitidos, *score* de impacto para el compartimento acuático (y también terrestre). Los *scores* de impacto son figuras numéricas y demuestran el riesgo relativo de los compuestos.

Las ventajas de tal enfoque integrado son obvias. El conocimiento y experiencia de la evaluación de sustancias químicas es ampliamente utilizado, por lo que el diálogo entre los aplicadores de la LCA y los expertos en el campo de las evaluaciones químicas debe ser intensificado.

Uno de los mayores defectos del enfoque integrado es el hecho que se requiere una gran cantidad de datos de entrada. Debido a que la información no siempre está disponible, el uso de datos por defecto es inevitable. Como consecuencia, el nivel de precisión desde una LCA a otra puede variar sin que se tenga una forma transparente de presentación.

Un método simple para la evaluación de riesgo de residuos electrónicos es verificar si están considerados en el Catálogo de Residuos Europeos (European Waste Catalogue, EWC) que es una clasificación de residuos peligrosos (AEA Technology, 2004). Sin embargo, se considera que un ítem es peligroso solo si la concentración de sustancias peligrosas es mayor que o igual al valor límite umbral para esa sustancia. Ya que numerosas sustancias, componentes e ítems de residuos electrónicos listados en la EWC son entradas, su peligrosidad necesita ser evaluada para determinar si son o no son peligrosos.

Para evaluar si ciertos ítems de residuos electrónicos o sus componentes son peligrosos, se pueden seguir los seis pasos definidos en la Metodología para la Evaluación de Residuos Peligrosos de la USEPA (2005).

Paso 1. ¿Es un residuo de la Directiva o un residuo controlado?

Paso 2. ¿Es residuo peligroso o residuo doméstico? La Directiva de Residuos Peligrosos (Hazardous Waste Directive, HWD) excluye los residuos domésticos.

Paso 3. ¿Está el residuo categorizado en el EWC 2002? Para los ítems y componentes individuales de residuos electrónicos, es necesario establecer si estos contienen sustancias peligrosas.

Paso 4. ¿Es la composición de residuos conocida o puede ser determinada? En algunos casos, es posible determinar la composición de varios ítems de residuos electrónicos y sus componentes cuando existe información disponible. Cuando la información no está disponible, se requiere un trabajo futuro, especialmente si existen razones para indicar que el residuo es peligroso.

Paso 5. ¿Contiene el residuo sustancias peligrosas? Si es así, pasar al paso 6.

Paso 6. ¿El residuo posee alguna de las propiedades de H1 a H14? Para cada sustancia peligrosa las frases de riesgo relevantes pueden obtenerse desde Approved Supply List (ASL). Cuando una sustancia no está listada en la ASL, se pueden obtener las frases de riesgo desde Hojas de Datos de Seguridad de Materiales (Material Safety Data Sheet, MSDS).

Cada número de frases de riesgo tiene asociada una Categoría de peligro, Riesgo de sustancia, Peligro y valor límite umbral. Las sustancias (en los componentes y/o ítems de residuos electrónicos) en concentraciones iguales a o sobre el límite umbral pueden hacer que el componente o ítem de un residuo electrónico sea considerado como residuo peligroso. Por ejemplo, en el caso de un refrigerador que contenga sustancias que reducen la capa de ozono (Ozone Depleting Substances, ODS) en el refrigerante y la espuma de aislamiento, si el refrigerador contiene ODS en cantidad igual o sobre 0.1% del peso total del refrigerador, puede ser clasificado como residuo peligroso (H14, ecotóxico). Así, cualquier componente o ítem de un residuo electrónico que contenga ODS en concentraciones mayores que o iguales a 0.1 % es clasificada como peligrosa (H14, ecotóxico).

Esta metodología es ilustrada en la Figura 3. Componentes típicos en los ítems de la categoría de residuo electrónico pueden identificarse al igual que el contenido de sustancias peligrosas de cada componente. Las concentraciones de estas sustancias pueden ser estimadas desde datos disponibles y comparadas con los valores límites umbrales para estas sustancias (cuando las frases de

riesgo están disponibles). Consecuentemente, las concentraciones calculadas que pueden ser iguales a o exceden los valores límites umbrales indicarán si el componente y posiblemente también los ítems de residuos electrónicos pueden ser clasificados como residuos peligrosos, a menos que tales sustancias puedan ser removidas durante el tratamiento al final de su vida. Un ejemplo de evaluación para un televisor es dado en la Tabla 1.

La concentración de óxido de plomo es lo suficientemente alta para hacer que el CRT (Cathode Ray Tube) y el televisor mismo sean peligrosos. No existe información de materiales de fósforo y la falta de frases de riesgo para TBBPA (Tetrabromobisphenol A) hace la evaluación de peligrosidad imposible.

Otras Herramientas para la Evaluación de Riesgos

Como medida para mejorar la toma de decisiones, la Comunidad Europea ha generado una nueva herramienta denominada Política Integrada del Producto (Integrated Product Policy, IPP), la cual fue generada para reducir los impactos ambientales generados por los productos y servicios en todas las fases de sus ciclos de vida, cuando sea posible, a través de la utilización de enfoques de mercados verdes que tomen en cuenta la competitividad y los aspectos sociales (European Commission, 2000; 2006; OECD, 2006). La IPP intenta estimular cada una de las fases del ciclo de vida para mejorar el desempeño ambiental de un producto determinado.

Existe una serie de herramientas, voluntarias y mandatorias, que pueden ser usadas para alcanzar dicho objetivo, entre las que pueden citarse los instrumentos económicos, la prohibición de sustancias químicas, los acuerdos voluntarios, el etiquetado ambiental y las normas de ecodiseño del producto.

A través de este procedimiento verde (Green Procedure, GP) es posible reducir los riesgos que surgen del uso de productos químicos, favoreciendo el uso de productos que tengan un bajo impacto sobre la salud humana y el medio ambiente a través de su ciclo de vida, y desaprobando el uso de productos químicos que tienen un alto impacto.

Una forma especial de la IPP (Integrated Product Policy) es su aplicación a las sustancias químicas a través de la Política Química del Producto (Chemical Product Policy, CPP), que evalúa y gestiona los impactos de las sustancias

químicas a través de su ciclo de vida (i.e., desde la producción de una sustancia química, pasando por la distribución, uso, reciclaje y/o recuperación y hasta la disposición final de esta sustancia). De esta forma, muchas metodologías para la generación y recolección de datos, para realizar evaluaciones de riesgos y tomar decisiones en la gestión de riesgos se han enfocado principalmente en el estado de producción. Este enfoque ayuda a las metodologías existentes y desarrolla otras nuevas para generar un enfoque más holístico en la gestión de sustancias químicas.

El año 2001, la Comunidad Europea presentó una estrategia para la futura política en materia de sustancias y preparados químicos (CEC, 2001). En este documento se establecieron los objetivos que han de alcanzarse para lograr un desarrollo sostenible en la industria química en el marco del mercado único. En él se expusieron asimismo los elementos fundamentales de la estrategia, en particular la creación de un único reglamento para todas las sustancias, denominado REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals), y la asignación a la industria de la responsabilidad de la obtención de datos sobre las propiedades inherentes de las sustancias, así como de la determinación de los riesgos que conlleva el uso de las mismas, con el objeto de garantizar un alto nivel de protección de la salud humana y el medioambiente (Reglamento CE 1907/2006; Reglamento CE 1272/2008; Reglamento CE 790/2009; Reglamento UE 109/2012; REACH, 2007).

Actualmente, los requerimientos del sistema REACH (REACH, 2007) dependen de las propiedades de peligrosidad probada o sospechosas que tienen las sustancias químicas, sus usos, la exposición y volúmenes producidos o importados. Todas las sustancias por sobre 1 tonelada deben ser registradas en una base de datos central. Se debe dar atención especial a las sustancias producidas en mayores cantidades, especialmente en relación a sus efectos de largo plazo y crónicos.

El REACH da una mayor responsabilidad a la industria para gestionar los riesgos de las sustancias químicas y para proporcionar información más segura acerca de estas. Con este sistema se le puede solicitar a los fabricantes e importadores obtener información de las propiedades de sus sustancias, que ayuda a la gestión segura y a registrar la información en una base de datos. Una agencia química actúa como el punto central en el sistema REACH: esta mantiene las bases de datos necesarias para operar el sistema, coordina las evaluaciones de sustancias químicas sospechosas y dispone en forma pública de las bases de

datos en donde los consumidores y profesionales puedan encontrar la información de peligros.

Una herramienta de evaluación derivada del REACH es el EUSES, que es el Sistema de la Unión Europea para la Evaluación de Sustancias (EUSES) (Lijzen & Rikken, 2004). Este es un instrumento de apoyo a la toma de decisiones que capacita a las autoridades de gobiernos, instituciones de investigación y compañías químicas a realizar evaluaciones de riesgos rápidas y eficientes de las sustancias químicas que entran en contacto con los humanos y el medio ambiente (Rikken & Lijzen, 2004; European Commission, 2004).

El EUSES es una evaluación de riesgos inicial más que una evaluación detallada y comprensiva (Figura 4). Actualmente, la nueva versión electrónica del programa se denomina programa EUSES de evaluación de riesgos, versión 2.1.2 (2012). El sistema está documentado en las guías técnicas para la evaluación de riesgos de sustancias químicas, *v.g.*, ECHA (2011).

Fisk *et al.* (2003) desarrollaron un escenario de exposición genérico donde se analizaron los retardantes de llama de la industria del plástico y textil, utilizando la herramienta EUSES para evaluar los posibles riesgos de los retardantes de llama sobre los ambientes acuáticos y terrestres; aunque no consideraron los riesgos a la cadena alimenticia y a la salud humana ni tampoco la disposición de residuos ni el reciclaje.

Sí consideraron los usos, mecanismos de acción y las regulaciones ambientales de los retardantes de llama y, además, las rutas por las cuales ingresan al medio ambiente. En su análisis, incorporaron supuestos en las propiedades fisicoquímicas (solubilidad en agua, presión de vapor y coeficiente de partición octanol-agua, utilizados en los modelos de destino y comportamiento ambiental); supuestos de toxicidad para organismos acuáticos y terrestres (incluyendo algunos datos de toxicidad para mamíferos) y supuestos de la distribución y degradación ambiental, entre otros. También utilizaron las listas prioritarias de sustancias disponibles sobre peligros, incluyendo las propiedades de persistencia, bioacumulación y toxicidad (PBT); sobre riesgos, basados inicialmente en un modelo de exposición general y, secundariamente, en el mercado.

El estudio sugirió que, a partir de la experiencia de la Comunidad Europea, es necesario realizar la investigación detallada del ciclo de vida y de las propiedades de una sustancia para obtener conclusiones claras y cuantitativas de sus riesgos

potenciales. Indicaron que los informes existentes de evaluación de riesgos realizadas a retardantes de llama aún no han clarificado si estos representan un riesgo significativo para el medio ambiente o la salud humana.

Modelo propuesto para la evaluación de riesgos de residuos electrónicos

De acuerdo con la información analizada, para la evaluación de riesgos de residuos electrónicos se propone utilizar un modelo de gestión que integra la evaluación de riesgos humanos y ambientales (HERA) con aspectos tomados desde otras herramientas de gestión, incluyendo herramientas de gestión ambiental, tales como los aspectos ambientales considerados en la evaluación de impacto ambiental de componentes, materiales y sustancias a través del ciclo de vida de los productos electrónicos, herramientas de ecodiseño de los productos electrónicos y herramientas del final de la vida del producto (Figura 5).

Actualmente, este modelo de evaluación de riesgos integrada no ha sido aplicado, pero es posible que pronto comience a establecerse un nuevo marco normativo, especialmente en la Comunidad Europea, que abarque todos los aspectos importantes de estas herramientas aplicables a la evaluación de riesgos, con el fin de obtener resultados más confiables al momento de tomar decisiones relativas a los riesgos presentes en las sustancias químicas que conforman los equipos electrónicos.

El modelo general de evaluación de riesgos integrado es explicado en un modelo más específico, que considera aspectos particulares de cada herramienta de gestión en la Figura 6. El modelo considera una primera etapa de obtención de información general de los componentes, materiales y sustancias de equipos electrónicos a través de una búsqueda bibliográfica o de la información proporcionada por los fabricantes de equipos electrónicos.

A la vez, se considera la obtención de información sobre la evaluación del ciclo de vida, especialmente la relativa a los aspectos e impactos ambientales y del inventario de los componentes, materiales y sustancias del equipo analizado; información sobre el ecodiseño, especialmente sobre las características y tipos de materiales usados y sobre la toxicidad de sus componentes, materiales y sustancias; y, por otro lado, se considera la obtención de información necesaria para la gestión al final de la vida, especialmente sobre la composición de los residuos, su peligrosidad y su valoración económica. Si es posible, se deberá

obtener información a través de las calculadoras ambientales, de las estrategias de ecodiseño utilizadas por el productor y de la estrategia para la gestión de residuos propuestas al final de la vida.

En una segunda etapa, se deberá realizar una evaluación de la toxicidad, obteniéndose información cualitativa y cuantitativa disponible más detallada sobre la toxicidad y, si es posible, información sobre la toxicidad a través de experimentos de laboratorio. En esta etapa, es necesario obtener la información disponible sobre la exposición humana y ambiental, identificándose las rutas de exposición, las concentraciones de exposición y si existe el consumo de sustancias contaminantes a través de alguna de las rutas biológicas (*i.e.*, inhalación, ingestión o cutánea).

En una tercera etapa, se debe caracterizar los riesgos a la salud humana y al medio ambiente, a través del cálculo de la razón entre los datos de efectos y los datos de exposición disponibles. Esta etapa es importante para la posterior toma de decisiones en relación a los componentes, materiales y sustancias tóxicas presentes en los equipos electrónicos. Para realizar una adecuada caracterización de riesgos, es necesario que se disponga de valores estandarizados de umbrales de toxicidad o valores permisibles, ya que en base a esta información se toman las decisiones en la etapa final de la evaluación de riesgos.

En la etapa final se debe decidir si los componentes, materiales y/o sustancias de un equipo o residuo electrónico representan un riesgo para la salud o para el medio ambiente. De este análisis se pueden obtener tres resultados: que no existen riesgos para la salud o el medioambiente, que es necesario realizar estudios adicionales para determinar el riesgo o que la información indica que existe un riesgo alto, por lo cual se recomienda reducirlos.

Modelo para la Evaluación de la Toxicidad de Residuos Electrónicos

Entre las etapas de la evaluación de riesgos, la evaluación de la toxicidad es la más difícil de realizar, ya que esta requiere de un elevado nivel de especialización técnica y de recursos de infraestructura y económicos para su ejecución. Se plantea un modelo de evaluación de la toxicidad, el cual puede ejecutarse por partes.

Antes de la evaluación de toxicidad, se debe determinar cuál es el componente, material o sustancia que será evaluado a través de la obtención de información bibliográfica conocida. Esta etapa puede realizarse a través de la utilización de listas de sustancias peligrosas existentes, de la obtención de información de peligrosidad proporcionada por el productor, a través de hojas de datos de seguridad u otros datos que entreguen información de la toxicidad.

En caso de no obtener información fidedigna, se deberá seguir la etapa de evaluación de la toxicidad a través de estudios de toxicidad aguda, toxicidad crónica o toxicidad extrínseca, las cuales entregarán información de toxicidad a través de la concentración o dosis letal al 50% (CL50), concentración de efecto más bajo observado (Lowest Observed Effect Level, LOEL), concentración de no efecto observado (No Observed Effect Level, NOEL) o de la comparación con límites máximos permisibles (LMP), respectivamente (Figura 7).

Esta información podrá ser finalmente utilizada en la evaluación riesgos y en la extrapolación a la exposición real de humanos o de otras especies de un ecosistema particular.

Discusión

La premisa general de este trabajo fue que los equipos electrónicos y sus residuos tienen en su composición componentes, materiales y/o sustancias que representan un riesgo para la salud humana y para el medio ambiente (Reikman, 2005; Five Winds International, 2001; Musson *et al.*, 2000; Townsend *et al.*, 1999). Esta aseveración ha sido corroborada por algunos estudios, entre los cuales los más completos han sido los relativos a la evaluación de riesgos de sustancias específicas presentes en los equipos electrónicos (European Chemicals Bureau, 2002; Fisk *et al.*, 2003).

Aunque los impactos ambientales de los productos electrónicos no son explícitos para un observador común, los tipos de materiales que contienen, la naturaleza de los procesos de fabricación utilizados, el alto consumo de energía durante su utilización y los crecientes volúmenes de producción existentes los han llevado a conformar una carga ambiental importante (Fitzpatrick, 2006).

La metodología de evaluación de riesgos propuesta para la determinación de la toxicidad en equipos y/o residuos electrónicos ha sido considerada efectiva y

confiable para otros materiales, y se ha sugerido que siempre que se sospeche de sustancias peligrosas es conveniente realizar una evaluación de riesgos humana, debido a sus posibles efectos tóxicos y exposición humana a través del trabajo, consumo de productos o exposición ambiental indirecta.

Entre los parámetros de peligrosidad, la toxicidad es la característica más importante de las sustancias, materiales, componentes y/o residuos electrónicos. De esta forma, en una evaluación de riesgos, debe obtenerse información necesaria para la caracterización de la toxicidad, para lo cual se utilizan diferentes procedimientos, dependiendo si se requiere analizar efectos carcinogénicos o no carcinogénicos.

La evaluación de la toxicidad es una herramienta para investigar el potencial de una sustancia para producir daño, y cuánto daño puede producir. Los efectos tóxicos pueden ser de corto plazo (efectos agudos), pueden considerar exposiciones repetidas por un largo periodo de tiempo (efectos crónicos), pueden afectar una parte del cuerpo o pueden variar enormemente en severidad.

El concepto de dosis-respuesta es la base de todas las evaluaciones de toxicidad y es utilizada para los efectos agudos o crónicos. La toxicidad aguda es evaluada utilizando observaciones de exposiciones accidentales de humanos o a través de ensayos de toxicidad con animales experimentales, usualmente roedores. La toxicidad crónica es evaluada a través de la evaluación del cáncer u de otros efectos crónicos.

Actualmente no existen muchos estudios de evaluación de la toxicidad para residuos electrónicos, ni tampoco se han implementado estrategias adecuadas de evaluación.

El modelo presentado aquí es un modelo general de evaluación de riesgos. Entre las ventajas de esta evaluación, está que cuando puede realizarse en forma efectiva y correcta se obtiene información confiable de los efectos de una sustancia química, la cual podría utilizarse para tomar decisiones posteriores acerca de la gestión de residuos peligrosos.

Un problema con este modelo de evaluación, muchas veces, es la falta de recursos técnicos y económicos para poder llevarlo a cabo y, por otro lado, el tiempo que se requiere para obtener resultados confiables, los cuales pueden diferir enormemente entre grupos de investigación.

Basado en la información disponible, el Departamento de Energía del Estado de Washington presentó un estudio relacionado a los productos que contienen PBDEs (Polybrominated Diphenyl Ethers). El estudio incluyó una cantidad considerable de información científica reciente de los riesgos ambientales y humanos que representan los PBDEs, especialmente, de las serias consecuencias sobre la salud y el medio ambiente, incluyendo entre estas la neurotoxicidad, que producen impactos notables sobre la conducta, aprendizaje y memoria. Además, incluyeron efectos tales como malformaciones de los huesos, impactos reproductivos y desórdenes hepáticos (WSDOE, 2006).

Desafortunadamente, a pesar de la gran cantidad de ensayos de toxicidad realizados con animales de laboratorio, el estudio indicó que aún queda mucho por conocer, especialmente en relación a la información de toxicidad sobre las alternativas a los deca-BDE. El estudio planteó que, bajo las actuales políticas ambientales de USA, los estudios de toxicidad no son requeridos o no son publicados y que las tasas de degradación de los PBDEs en el medio ambiente no son conocidas, ni tampoco cuáles son los congéneres producidos como resultado de la degradación de los PBDEs.

A partir de los resultados, se concluyó que no se conoce cómo los PBDEs se mueven desde los productos y residuos electrónicos hacia el cuerpo humano y hacia el medio ambiente, o cuántos productos de deca-BDE contribuyen a los niveles presentes en el cuerpo humano o el medio ambiente y que tampoco se sabe cómo los PBDEs impactan a otras especies, tales como peces y mamíferos marinos o terrestres.

Los problemas de la evaluación de riesgos se deben a que los métodos tradicionales para la evaluación de riesgos de sustancias químicas se enfocan principalmente en los peligros intrínsecos de estas y en su potencial para alcanzar a un componente vulnerable del medio ambiente, tomando en cuenta sus fuentes, sus rutas hacia y a través del medio ambiente y los efectos que puedan tener sobre este, todos los cuales son factores que tienen diferentes grados de complejidad y están sujetos a innumerables incertidumbres (RCEP, 2003).

De esta forma, la aplicación de la evaluación de riesgos ha estado sujeta a mucho debate, particularmente debido a problemas relacionados a las incertidumbres y supuestos y a las pocas oportunidades para incorporar información pública en el proceso, lo que ha producido desconfianza del público en el proceso de evaluación.

A pesar de las críticas existentes, los estudios de evaluación de riesgos humanos y ambientales (HERA) son una de las herramientas más poderosas para estudiar los efectos de sustancias químicas sobre los seres humanos y los ecosistemas, y nos permiten tomar decisiones sobre la gestión de riesgos de un proceso o actividad industrial.

Los principios de la HERA incluyen la identificación de peligros de las sustancias químicas y la caracterización de los riesgos a través de los análisis de su destino y de sus efectos. Sus resultados, pueden indicar que el riesgo es aceptable o que se deben implementar medidas para la reducción de la probabilidad de ocurrencia de los riesgos o que se deben reducir las consecuencias a un nivel aceptable (UNEP, 2005b).

En Chile, la gestión de residuos peligrosos incluye algunas consideraciones sobre la toxicidad, pero el análisis no está basado en una evaluación de riesgos, por lo que sería necesario realizar modificaciones a la normativa existente para integrarla definitivamente.

El modelo de evaluación de riesgos presentado, puede ser considerado desde dos puntos de vista. El primero es el teórico, que implica tomar los aspectos relativos a la información teórica y bibliográfica disponible de los componentes, materiales o sustancias presentes en un equipo electrónico. Con la información disponible se podría definir cualitativamente si un residuo es o no es peligroso por toxicidad.

Por otro lado, está el punto de vista experimental, que implicaría la realización de una serie de ensayos de toxicidad para determinar si un residuo es o no peligroso por toxicidad. Este análisis es mucho más complejo, pero entrega información cuantitativa de la toxicidad del residuo.

Las limitaciones nacionales son enormes para realizar evaluaciones de la toxicidad, y aún mayores para realizar evaluaciones de riesgos completas, por lo cual es necesario generar proyectos de implementación de laboratorios y preparar a los especialistas necesarios para desarrollar el método de evaluación de riesgos propuesto.

El modelo de gestión propuesto, está basado en la evaluación de riesgos humana y ambiental (HERA), y su combinación con información de otras

herramientas modernas de gestión puede ser el punto de partida para desarrollar una estrategia de gestión de residuos electrónicos en el país.

La importancia del modelo es que, aplicado adecuadamente, puede entregar información científica y técnica cuantitativa, la que puede ser utilizada posteriormente para la toma de decisiones a nivel gubernamental, y así realizar un buen manejo de los residuos peligrosos en general.

Para aplicar esta propuesta, se requiere de una estrategia de trabajo que incluya aspectos tales como los referidos a las metodologías y equipos de medición de elementos y compuestos químicos en los residuos electrónicos, para determinar las probabilidades reales de exposición de humanos y otros organismos; las metodologías de evaluación de toxicidad, para determinar los efectos tóxicos de residuos electrónicos; y la generación de bases de datos, para estimar la producción de residuos y obtener la composición de los fabricantes, entre otros.

Conclusiones

La evaluación de riesgos humana y ambiental (HERA) clásica tiene limitaciones cuando es aplicada en equipos y residuos electrónicos, debido a que los resultados pueden ser muy variables, dependiendo de las metodologías usadas.

Las evaluaciones de riesgos de materiales de equipos electrónicos han sido confusas y no se han obtenido resultados confiables a nivel mundial, por lo que la peligrosidad de los residuos peligrosos presentes en estos ha sido cuestionada.

Se plantea que la HERA debe ser combinada con las herramientas del ciclo de vida, de ecodiseño y del final de la vida para así obtener resultados más reales y aplicables para la toma de decisiones en la gestión de residuos electrónicos.

El modelo de evaluación de riesgos propuesto considera una metodología específica cuantitativa para la evaluación de la toxicidad, la cual requiere personal experimentado y recursos técnicos y económicos para que su aplicación sea efectiva. A nivel mundial, aún se está trabajando en la etapa de planificación de las evaluaciones de riesgos para equipos y residuos electrónicos.

Es necesario que los resultados obtenidos a través de la evaluación de riesgos de equipos y residuos electrónicos sean confiables y adecuados para la toma de decisiones en el nivel de gestión ambiental, para que de esta forma se generen políticas de gobierno acertadas, no solo en relación a los residuos electrónicos, sino que en relación a los residuos peligrosos en general.

Referencias Bibliográficas

AEA TECHNOLOGY (2004). WEEE & Hazardous Waste. A report produced for DEFRA, 65 pp.

CEC (2001). *White Paper. Strategy for a Future Chemicals Policy*. Brussels, 27.2.2001 COM(2001) 88 final. 32 pp.

DIRECTIVA 67/548/CEE (1967). Relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas.

ECHA (2011). Guidance on information requirements and chemical safety assessment.

EHSC (2001). Note On Hazard and Operability Studies (HAZOP). Environment, Health and Safety Committee. Health, Safety and Environment Officer. Royal Society of Chemistry. Burlington House, Piccadilly, London. 6 pp.

EUROPEAN CHEMICALS BUREAU (2002). European Union Risk Assessment Report. Bis (Pentabromophenyl) Ether. Luxembourg. Office for Official Publications of the European Communities. 294 pp.

EUROPEAN COMMISSION (2006). Environmental Impact of Products (EIPRO). Analysis of the Life Cycle Environmental Impacts Related to the Final Consumption of the EU-25 Main Report. IPTS/ESTO Project. Project Coordinators at the IPTS: Peter Eder and Luis Delgado. 139 pp

EUROPEAN COMMISSION (2004). European Union System for the Evaluation of Substances 2.0 (EUSES 2.0), Prepared for the European Chemicals Bureau by the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Bilthoven, The Netherlands. Available from European Chemicals Bureau, <http://ecb.jrc.it>.

EUROPEAN COMMISSION (2000). Green Paper on the Contribution of Product-Related Environmental Policy to Sustainable Development: A Strategy for an Integrated Product Policy Approach in the European Union. Commission of the European Communities.

FISK, P.R., A E GIRLING, R J WILDEY (2003). Prioritisation of Flame Retardants for Environmental Risk Assessment. Environment Agency's Science Group. 129 pp. (<http://www.environment-agency.gov.uk/>).

FIVE WINDS INTERNATIONAL (2001). Toxic and Hazardous Materials in Electronics An Environmental Scan of Toxic and Hazardous Materials in IT and Telecom Products and Waste. Final Report For Environment Canada, National Office of Pollution Prevention and Industry Canada, Computers for Schools Program.

FITZPATRICK, C. (2006). Electronics & the Environment: An Undergraduate Module for Engineers. 9th International Conference on Engineering Education. July 23 – 28, 2006. 8 pp.

GATTUSO, D. J. (2005). Mandated Recycling of Electronics. A Lose-Lose-Lose Proposition. Competitive Enterprise Institute. *Advancing Liberty From the Economy to Ecology*. 38 pp.

HERRCHEN, M., W. KLEIN (2000). A Special Topic Issue on Green Chemistry. Use of the Life-cycle Assessment (LCA) Toolbox for an Environmental Evaluation of Production Processes. *Pure Appl. Chem.* 72:1247-1252.

HIPAP (2008). Hazardous Industry Planning Advisory Paper N° 8. *HAZOP Guidelines*. Consultation Draft. 41 pp.

ISO 1050 (1991). Industrial tyres and rims. Cylindrical and conical base rubber solid tyres (metric series). Designation, dimensions and marking.

ISO 12100 (2003). Safety of machinery - Basic concepts, general principles for design.

LIJZEN, J.P.A., M.G.J. RIKKEN (2004). EUSES Version 2.0. European System for the Evaluation of Substances. *Bilthoven*, January, 2004. 451 pp.

MUSSON, S., JANG, Y.-C., TOWNSEND, T., CHUNG, I.-H. (2000). Characterization of Lead Leachability from Cathode Ray Tubes Using the Toxicity Characteristic Leaching Procedure. *Environ. Sci. Technol.* 34:4376-4381.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1994). *Science and Judgment in Risk Assessment*. National Academy Press, Washington, DC. 652 pp.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1983). *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process*. Ed. by Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health, National Research Council. 191 pp.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2009). *Science and Decisions: Advancing Risk Assessment*. Ed. by Committee on Improving Risk Analysis Approaches Used by the U.S. EPA, National Research Council. 424 pp.

OECD (2006). Workshop Report on Consideration of Chemical Safety in Green Procurement. Environment Directorate Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, Pesticides and Biotechnology. *OECD Environment, Health and Safety Publications Series on Risk Management No. 20* 78 pp.

OGUNSEITAN, O.A., J.M. SCHOENUNG, A. A. SHAPIRO, J-D. M. SAPHORES, A. K. BHUIE, A. W. STEIN (2003). Biocomplex dimensions of industrial ecology: Sectoral trade-offs on selecting alternatives to Pb in electronics. *The Sustainable World* 6:247-259.

REACH (2007). Registration, evaluation and authorization of chemicals. REACH DIRECTIVE.

RCEP. 2003. *Chemicals in products: safeguarding the environment and human health*. Cm 5827. Royal Commission on Environmental Pollution, Twenty-fourth Report HMSO, UK. June.

REGLAMENTO CE 1907/2006 (2006). Relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH).

REGLAMENTO CE 1272/2008 (2008). Del Parlamento Europeo y del Consejo sobre Clasificación, Etiquetado y Envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE)N° 1907/2006.

REGLAMENTO CE 790/2009 (2009). Que modifica, a efectos de su adaptación al progreso técnico y científico, el Reglamento (CE) no 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas.

REGLAMENTO CE 109/2012 (2012). Por el que se modifica el Reglamento CE N° 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH) en lo que respecta a su anexo XVII (sustancias CMR).

RELKMAN, A. (2005). *The European Union WEEE and RoHS Directives. How are Atlas Copco and CP's Handheld Industrial Tools and Assembly Systems Affected by the WEEE and RoHS Directives?* Environmental Technology and Management, Department of Mechanical Engineering, Linköping University. 100 pp.

SONNEMANN, G., CASTELLS, F., SCHUHMACHER, M. (2003). *Integrated Life-Cycle and Risk Assessment for Industrial Processes*. CRC Press LLC, 2000 Corporate Blvd NW, Boca Raton, FL 33431, USA.

TOWNSEND, T.G., MUSSON, S., JANG, Y.-C., CHUNG, I.-H. (1999). *Characterization of Lead Leachability from Cathode Ray Tubes Using the Toxicity Characteristic Leaching Procedure*. State University System of Florida, Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management, Report #99-5, 2207 NW 13 Street, Suite D, Gainesville, FL 32609.

UNEP (2005a). *Life Cycle Approaches. The Road from Analysis to Practice*. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. Division of Technology, Industry and Economics (DTIE). Production and Consumption Unit. 39-43, Quai André Citroën, 75739 Paris Cedex 15, France. 89 pp.

UNEP (2005b). *Basel Convention "Mobile Phone Partnership Initiative"*. Guidance Document Environmentally Sound Management of Used & End-of-Life Mobile Phones. 51 pp.

USEPA (2005). *Ecological Soil Screening Level (Eco-SSL)*. Guidance and Documents.

WSDOE (2006). *Washington State Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE)* Chemical Action Plan: Final Plan. 328 pp.

ZÚÑIGA, M. (2006). *Proposición de metodología para la determinación de la toxicidad por medio de la evaluación de riesgos asociados a riesgos electrónicos*. Tesis de grado para optar al grado académico de Magíster en Gestión Ambiental. Fac. Ingeniería. Univ. del Desarrollo. 103 p.

ZÚÑIGA, M., FUENTEALBA, M. (2006). Efectos ambientales asociados a residuos electrónicos. *UC Maule, Revista Académica de la Universidad Católica del Maule*. N°32:91-124.

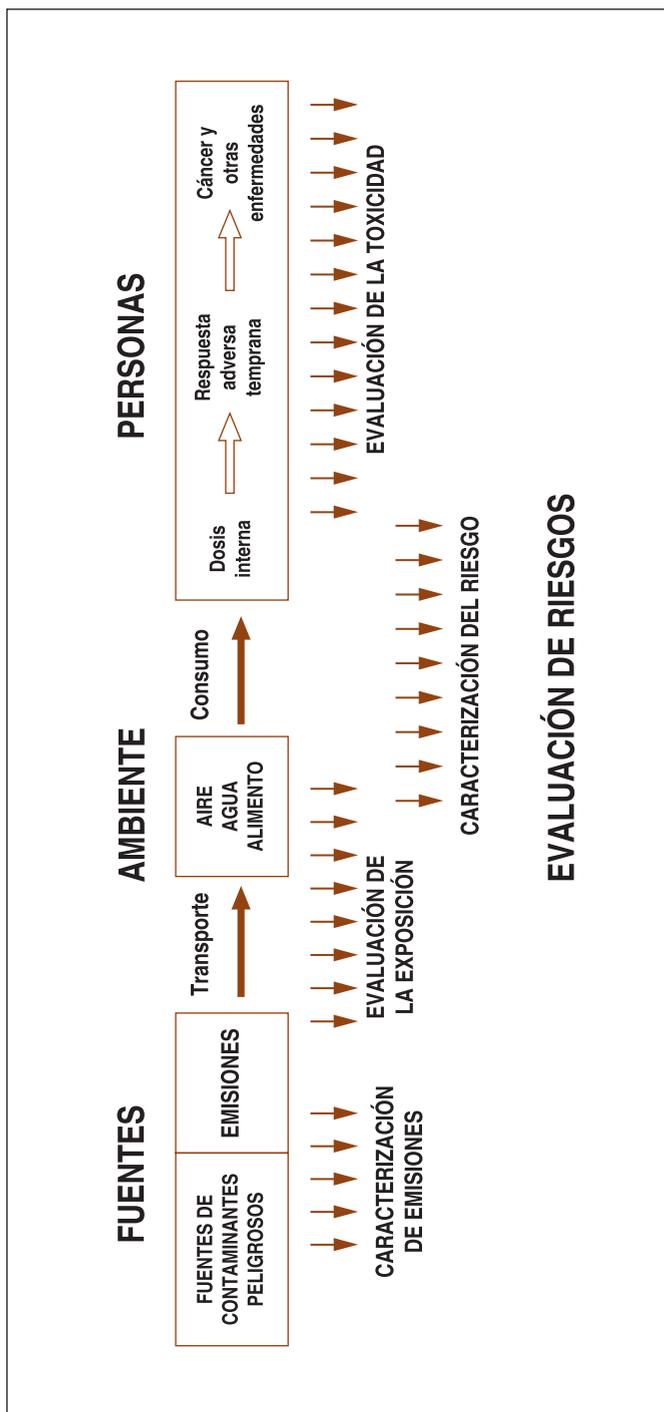


Figura 1. Etapas de la evaluación de riesgos (Modificada de NRC, 1994).

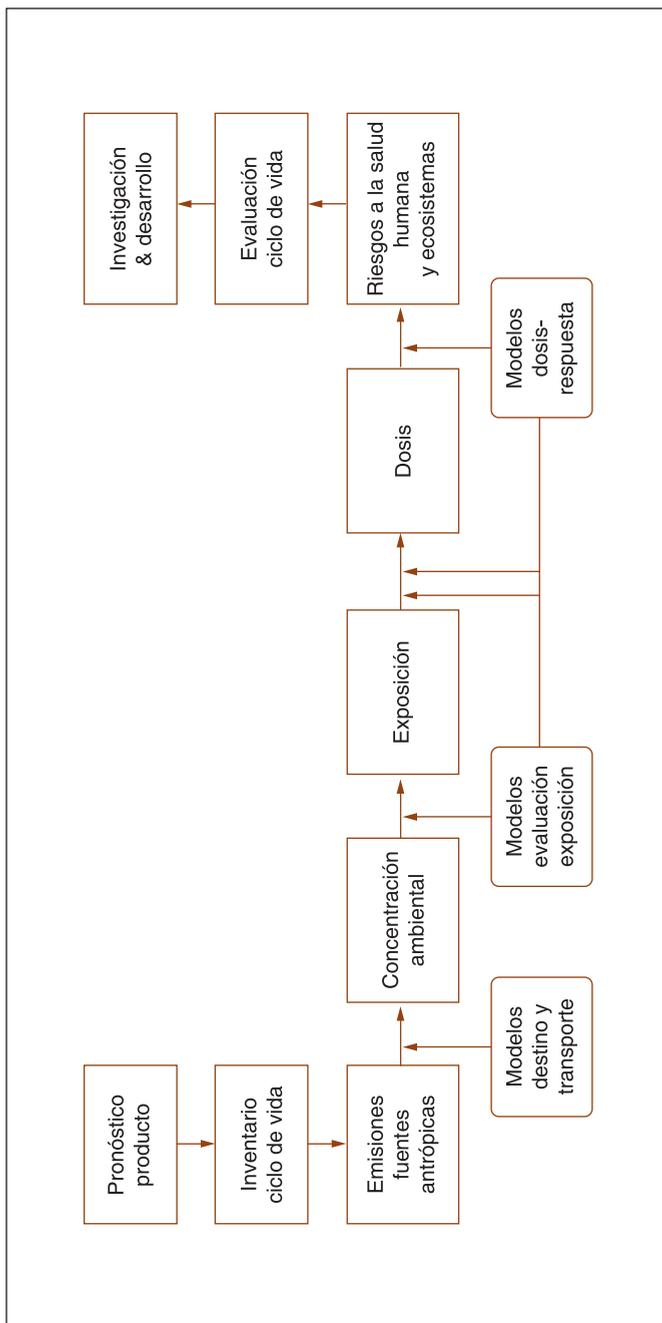


Figura 2. Modelo de integración de la LCA en la ERA (Modificada de Sonneman *et al.*, 2003).

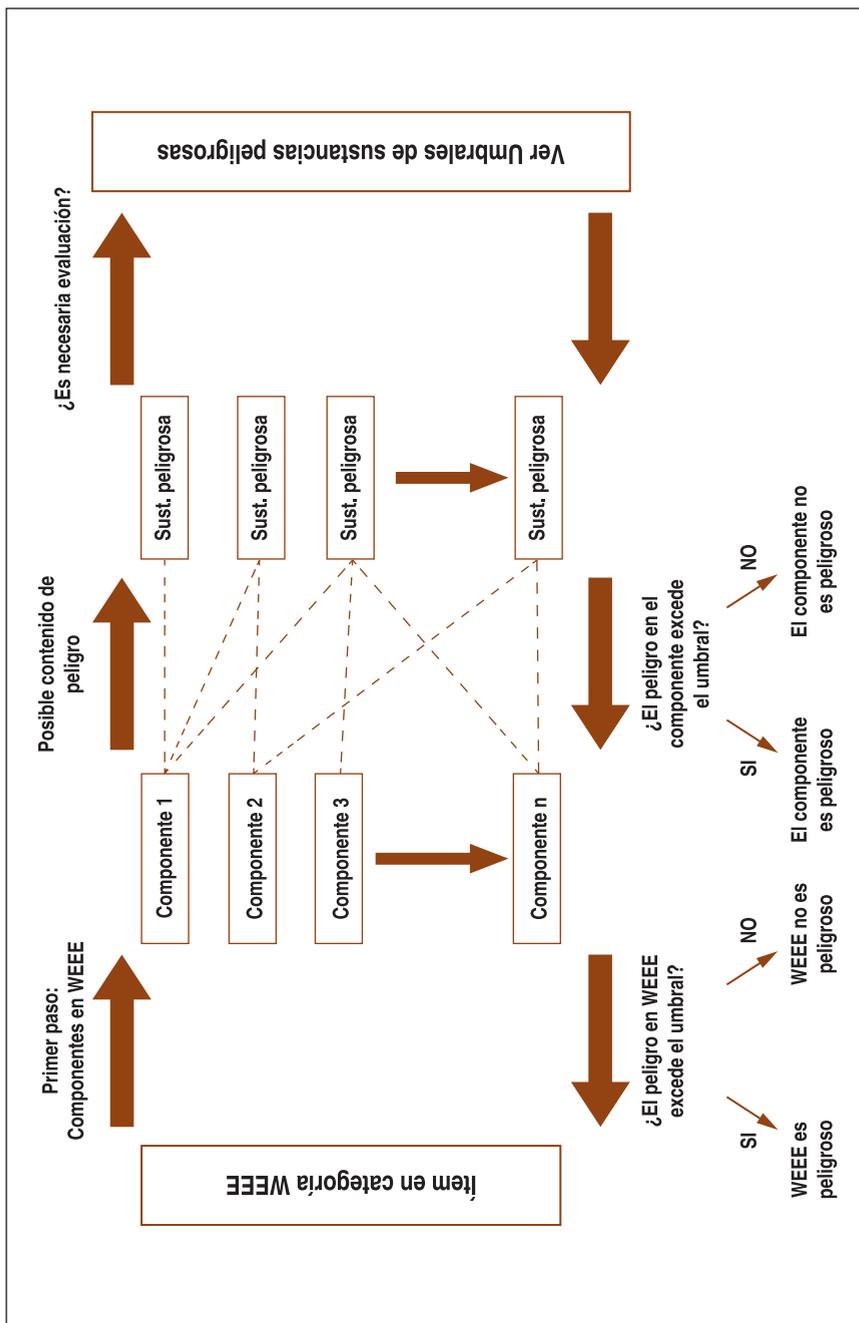


Figura 3. Metodología de evaluación de componentes peligrosos en componentes de equipos electrónicos (Modificada de AEA Technology, 2004).

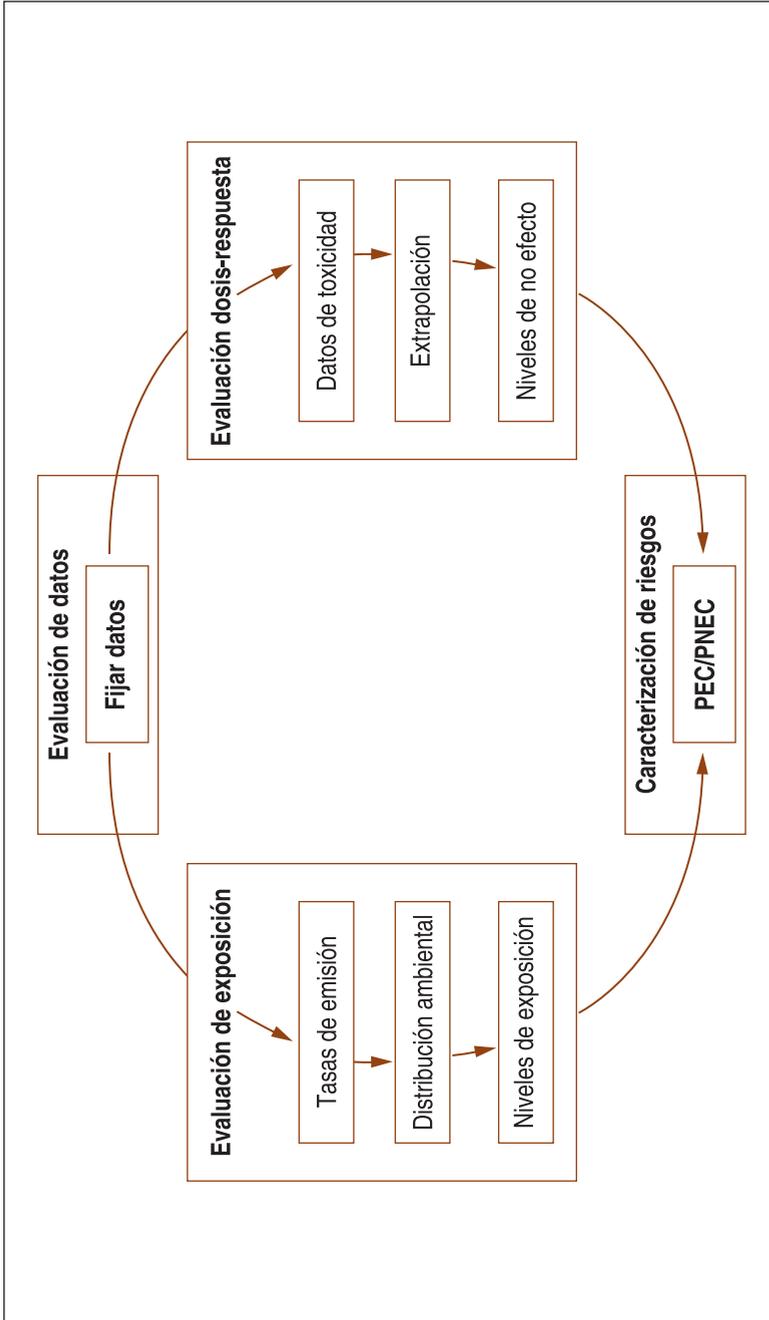


Figura 4. Estructura del modelo EUSES-Evaluación de riesgos. (PEC: concentración ambiental predicha; PNEC: concentración de no-efecto predicha) (Modificada de Flemström *et al.*, 2004).

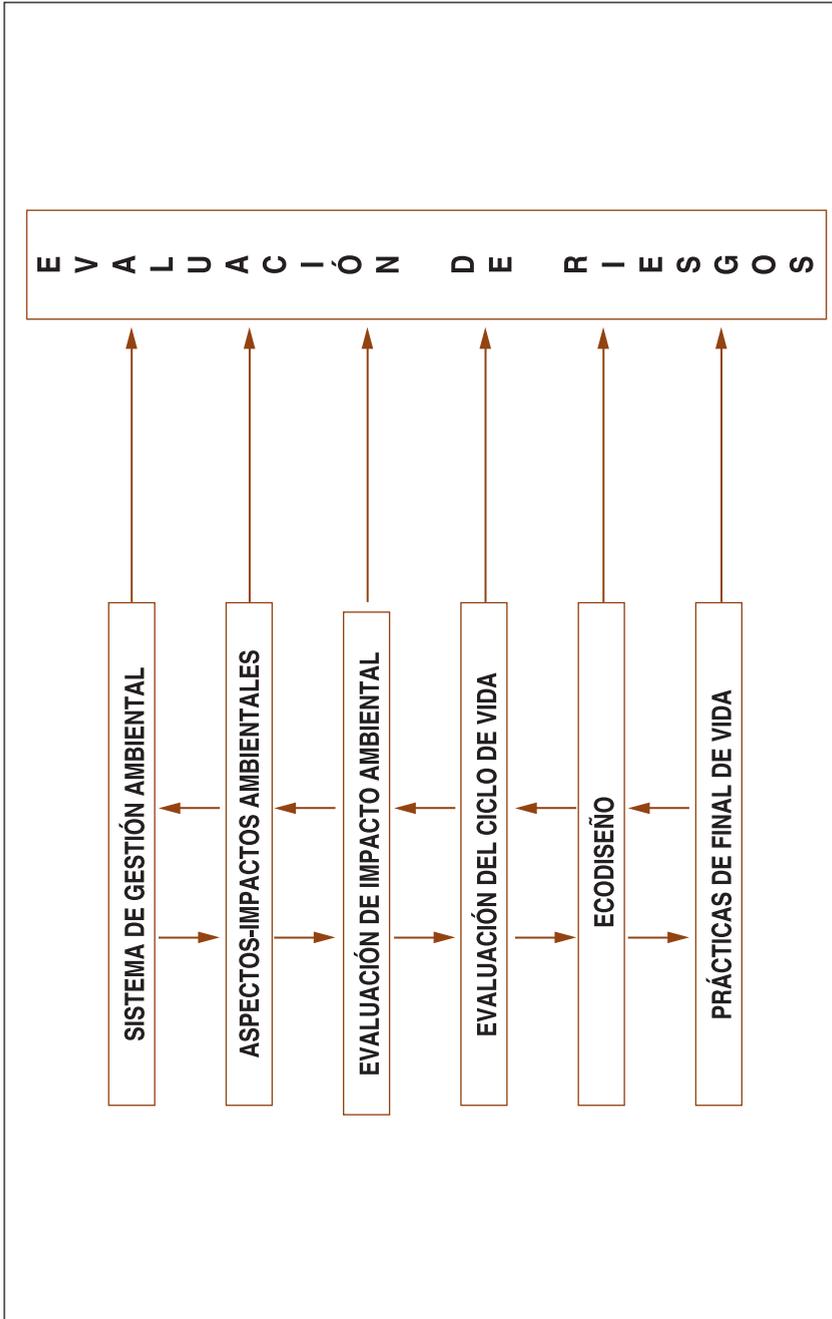


Figura 5. Modelo General de Evaluación de Riesgos y su Relación con otros modelos de Gestión.

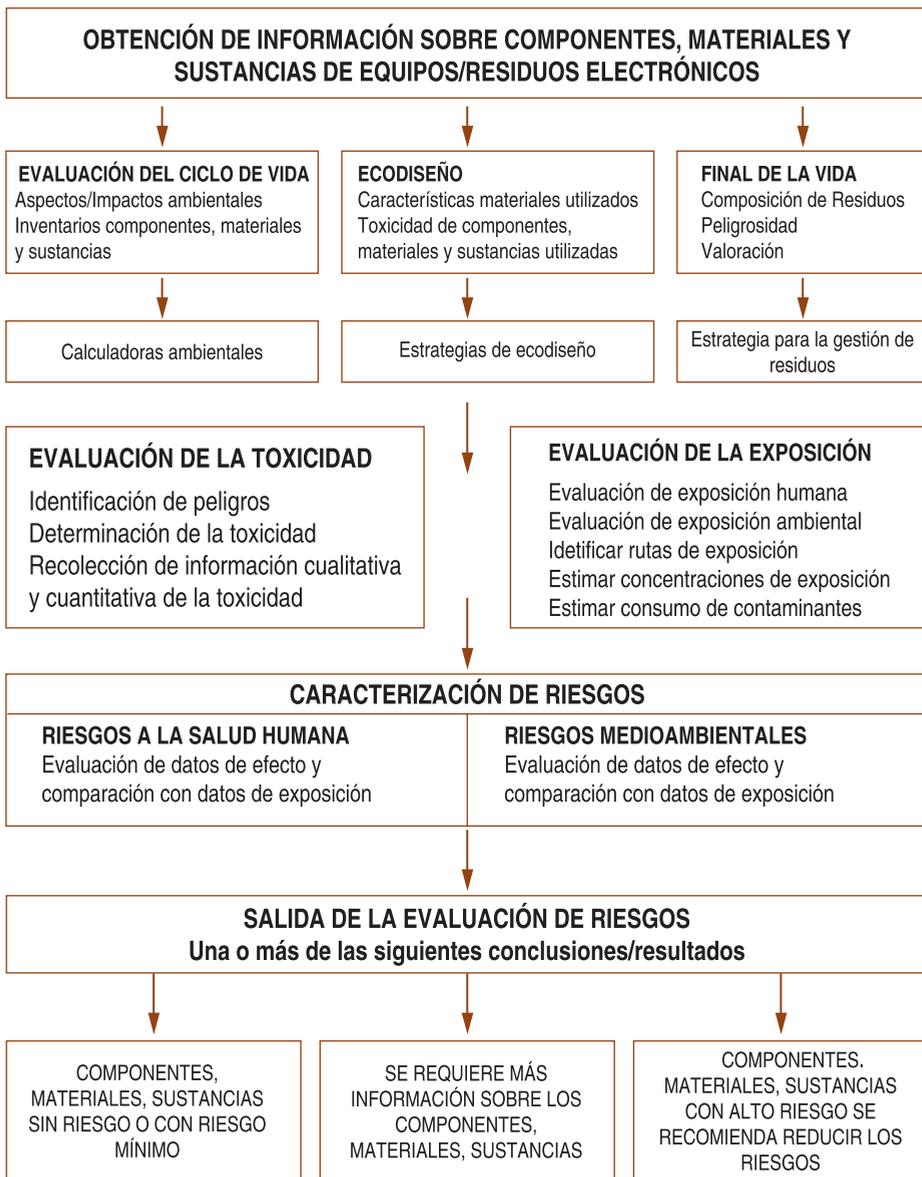


Figura 6. Modelo de evaluación de riesgos que considera aspectos específicos de cada herramienta de gestión relacionada a los productos electrónicos.

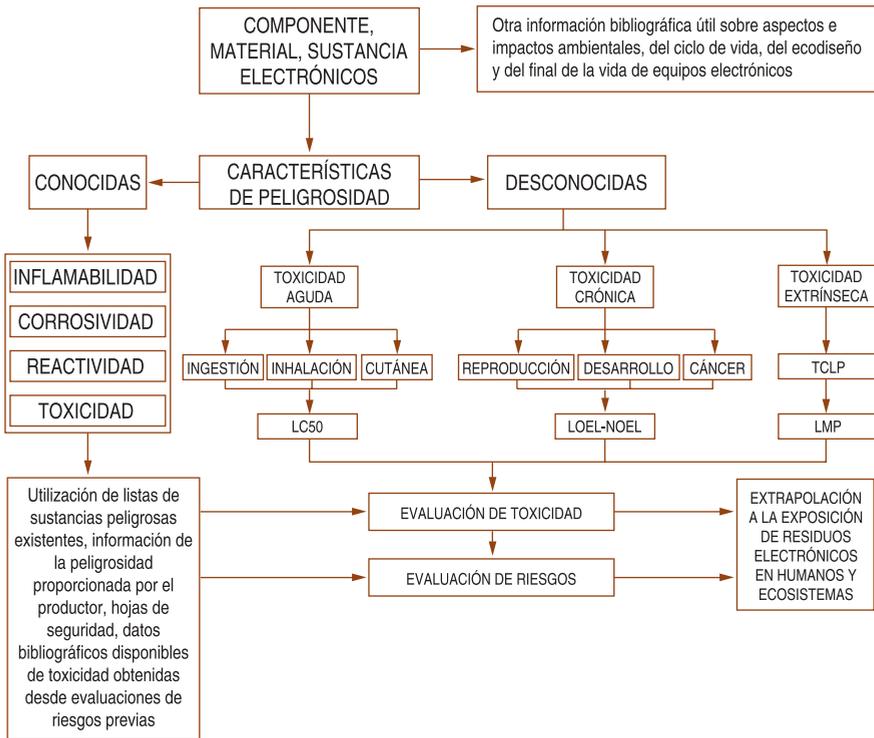


Figura 7. Modelo de evaluación de la toxicidad para residuos electrónicos.

Tabla 1. Ejemplo de evaluación de riesgos de un Televisor (Tomada de AEA Technology, 2004).

Componente	Sustancias constituyentes	% sustancia del componente	% componente del producto total	% sustancia del producto total	Umbral
Tubos de rayos catódicos (CTR)	Óxido de Plomo	8.69%	76.08%	6.61%	5.00%
	Vidrio				N/A
	Cadmio metal	0.04%		0.03%	0.10%
	Cromo VI	0.00%		0.00%	0.10%
	Trióxido de antimonio	0.22%		0.17%	1.00%
Tarjeta de circuitos	TBBPA	14.50%	5.56%		N/A
				0.81%	N/A
Plásticos	TBBPA	14.50%	14.40%		N/A
				2.09%	N/A
Cables y otros eléctricos	TBBPA	?	1.59%		N/A
					N/A
	Plastificador de phtalato	?		0.50%	
Otros cobre			2.33%	2.37%	N/A

(N/A= no aplicable)

CONTRIBUCIONES BREVES



Foto: Carlos Alarcón D./ Departamento de Comunicaciones UCM



Foto: Carlos Alarcón D./ Departamento de Comunicaciones UCM

Copyright of UCMaule - Revista Académica de la Universidad Católica del Maule is the property of Ediciones Universidad Católica del Maule and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.