



## Impacto ambiental del proceso de preparación para la reutilización de equipos ofimáticos

**Autor:** Marta M. Pérez Martínez

**Institución:** Universidad de Vigo

**Otros autores:** Camilo José Carrillo González (Universidad de Vigo); Tania González Martíns (EnergyLab); Carlos Gutiérrez Montenegro (EnergyLab); Pablo Izquierdo Belmonte (Universidad de Vigo); Javier Rodeiro Iglesias (Universidad de Vigo); Benedicto Soto González (Universidad de Vigo)

## Resumen

Se ha aplicado la metodología de análisis del ciclo de vida (ACV) para determinar el comportamiento ambiental de la reutilización de equipos informáticos en cuatro variantes demostrativas, que representan diferentes escenarios del producto resultante del proceso de preparación para la reutilización. Los ACV se han construido con el software SimaPro versión 7.3 y expresado con el método de evaluación de impacto ReCiPe. Los datos de inventario se han obtenido a partir de los datos registrados durante el funcionamiento de dos islas de procesado, prototipos realizados por demostradores, bases de datos y bibliografía.

Los primeros resultados obtenidos muestran que, en un ciclo de vida de un equipo ofimático que al final de su vida útil se destina a reutilización, la fabricación y el consumo energético a lo largo de la vida útil de los dispositivos informáticos y productos resultantes de la reutilización son los que tienen un mayor impacto ambiental. No obstante, la importancia relativa de las diversas etapas en el medio ambiente depende en gran medida del producto resultante de dicha reutilización y su modo de uso. En concreto, en el análisis del proceso de preparación para la reutilización, los sistemas logísticos y el embalaje empleado para el traslado del equipamiento son los puntos del proceso que contribuyen en mayor medida al impacto, aunque los beneficios ambientales obtenidos con el proceso de preparación para la reutilización son mayores que los impactos ambientales negativos derivados del proceso. La energía y recursos consumidos en el proceso de reutilización incurren en un impacto ambiental mucho menor que el necesario para la fabricación del mismo componente a partir de materias primas vírgenes.

El presente estudio se enmarcan dentro del proyecto ecoRae, Demonstration of a re-use process of WEEE addressed to propose regulatory policies in accordance to EU law (LIFE 11 ENV/ES/574), concedido en la convocatoria de 2011 de la Unión Europea LIFE + y coordinado por la Universidad de Vigo en colaboración con las empresas Energylab y REVERTIA.

**Palabras clave:** reutilización, análisis de ciclo de vida, equipos ofimáticos, impacto ambiental

## 1. Introducción

La generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) constituye hoy en día un problemática ambiental de gran trascendencia. La cantidad de RAEE generada aumenta anualmente a nivel mundial. La industria de la tecnología avanza cada vez más rápido y los ciclos de renovación de productos se hacen cada vez más cortos, por lo que se considera que el flujo de RAEE seguirá aumentando en las próximas décadas.

La problemática asociada a los RAEE radica en dos cuestiones principales. Muchos de los componentes que constituyen estos aparatos tienen una alta capacidad contaminante, con lo que su gestión inadecuada puede tener importantes consecuencias negativas en el entorno. Por otro lado, una gran parte de los recursos que estos aparatos necesitan para fabricarse son recursos escasos y de alto valor económico. En consecuencia, se considera fundamental la implantación de tecnologías con un alto rendimiento y el correcto tratamiento y gestión de residuos generados al final de su vida útil.

Se estima que, aplicando un tratamiento adecuado, se podría aprovechar entre un 70% y un 90 % de los RAEE, mediante reutilización y reciclaje. No obstante, en la Unión Europea, aproximadamente un 15 % de los RAEE generados no se recogen de manera selectiva. Estas fracciones pueden llegar a gestionarse de manera inadecuada, de forma que no contribuyen al reaprovechamiento de recursos y pueden causar un impacto ambiental negativo en el medio natural.

El objetivo general del proyecto ecoRaeE consiste en la caracterización y demostración de un proceso industrial de preparación para la reutilización de equipos electrónicos con el fin de promover estándares para la transposición de la normativa europea RAEE.

El ACV constituye una técnica para evaluar los aspectos medioambientales y los potenciales impactos asociados con un producto, proceso o actividad. Los trabajos de análisis de ciclo de vida enmarcados en este proyecto pretenden construir un escenario sólido y objetivo para el fomento de reutilización de RAEE como alternativa de gestión, mostrando la incidencia ambiental de la gestión integral de residuos eléctricos de tipo ofimático mediante procesos de preparación para reutilización.

Se considera, por tanto, que el empleo del ACV permitirá alcanzar los objetivos planteados, mediante la identificación, cuantificación y caracterización de los impactos ambientales potenciales asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un equipo ofimático destinado a la reutilización al final de su vida útil, mostrando de manera objetiva y rigurosa las posibles mejoras ambientales generadas gracias al proceso de reutilización.

## 2. Metodología

Para realizar la caracterización de los procesos de preparación para la reutilización desde el punto ambiental, se han estudiado cuatro variantes demostrativas que persiguen el procesado de componentes informáticos con el fin de reutilizarlos en diferentes aplicaciones:

- Demo I: Unidades centrales de adquisición de datos y control de mecanismos (UCAC).
- Demo II: Equipamientos estándar para computación distribuida (CLUSTER).
- Demo III: Sistemas de seguridad perimetral (APS)
- Demo IV: Puestos informáticos completos destinados a uso ofimático.

Estas variantes demostrativas constituyen prototipos de productos desarrollados a partir de componentes reutilizados de equipos ofimáticos, cuyo diseño y viabilidad se enmarca en otra acción específica dentro del proyecto. <sup>1</sup>

El estudio de ACV se realizó conforme a las normas internacionales UNE EN ISO 14040 y 14044 (AENOR, 2006) y las directrices del ILCD Handbook (European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, 2010). De acuerdo con la ISO 14040, el ACV consta de cuatro fases de trabajo interrelacionadas según una secuencia definida: definición de los objetivos y el alcance, análisis de inventario, evaluación del impacto e interpretación de resultados (

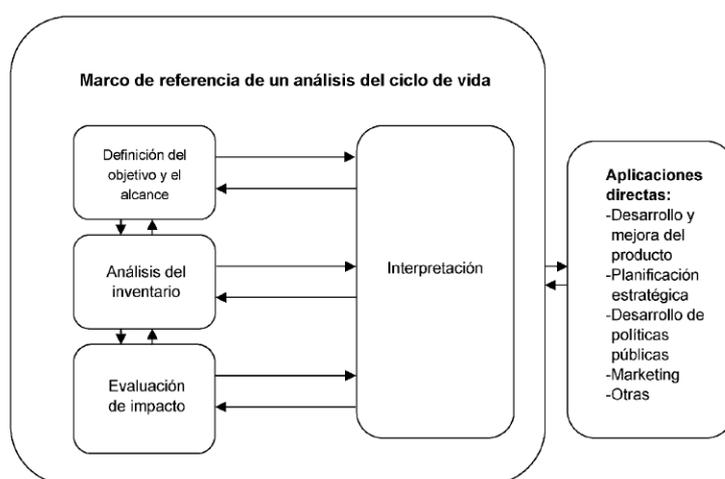


Figura 1).

Figura 1. Etapas de un ACV de acuerdo con la serie de normas ISO 14040. (AENOR, 2006).

<sup>1</sup> Acción B.4 Implantación/Demo del proceso ([http://www.life-ecoraee.eu/es/etapa\\_b.php#b4](http://www.life-ecoraee.eu/es/etapa_b.php#b4))

El estudio se ha realizado empleando el software SimaPro. Esta herramienta permite realizar un ACV siguiendo las recomendaciones de la normativa internacional ISO 14040-14044 y cuenta con bases de datos que contienen librerías de distintos autores con datos de energía, recursos, materiales, transporte y diferentes métodos de evaluación de impacto.

La metodología de evaluación de impacto seleccionada para el presente estudio es la ReCiPe, que integra el enfoque orientado al problema ambiental y el orientado al daño. En concreto se ha empleado la metodología Recipe Midpoint (H), que presenta un enfoque de puntos intermedios, con 18 categorías de impacto y una perspectiva temporal de medio plazo.

### **Objetivo y alcance**

El presente estudio tiene como objetivos principales:

- Evaluar cuantitativamente la importancia del impacto ambiental del proceso de disposición final del equipamiento ofimático dentro de su propio ciclo de vida.
- Identificar y evaluar los impactos ambientales más significativos de procesos de preparación para la reutilización de equipos ofimáticos y establecer las bases para realizar una evaluación comparativa entre reutilización y reciclaje.
- Obtener información rigurosa y objetiva que permita comprender las ventajas y desventajas del proceso industrial de preparación para la reutilización desde el punto de vista ambiental e identificar oportunidades de mejora con un enfoque técnico, tanto a nivel de proceso como de producto generado.

El alcance del presente estudio se ha definido de acuerdo con los objetivos anteriormente expuestos.

El modelo de ciclo de vida total planteado contempla dos secciones diferenciadas. En una primera sección, se engloban las etapas correspondientes al ciclo de vida de un equipo informático fabricado a partir de materias vírgenes, desde su montaje hasta su fin de vida, en el que el producto se destina a reutilización. A continuación, en una segunda sección consecutiva, se incluyen las etapas del ciclo de vida del producto obtenido a partir del proceso de reutilización, con las particularidades propias que presenta la aplicación de cada variante demostrativa. Este planteamiento permite el futuro análisis comparativo de este escenario de disposición final, con un escenario alternativo en el que el destino al final de la vida útil de un equipo informático sea el reciclaje. En la Figura 2 se muestra el sistema de producto de cada variante demostrativa objeto de estudio.

La función general de los cuatro sistemas estudiados es la de satisfacer las necesidades ofimáticas de un usuario convencional y las necesidades de los usuarios de los productos obtenidos a partir del proceso de preparación para reutilización.

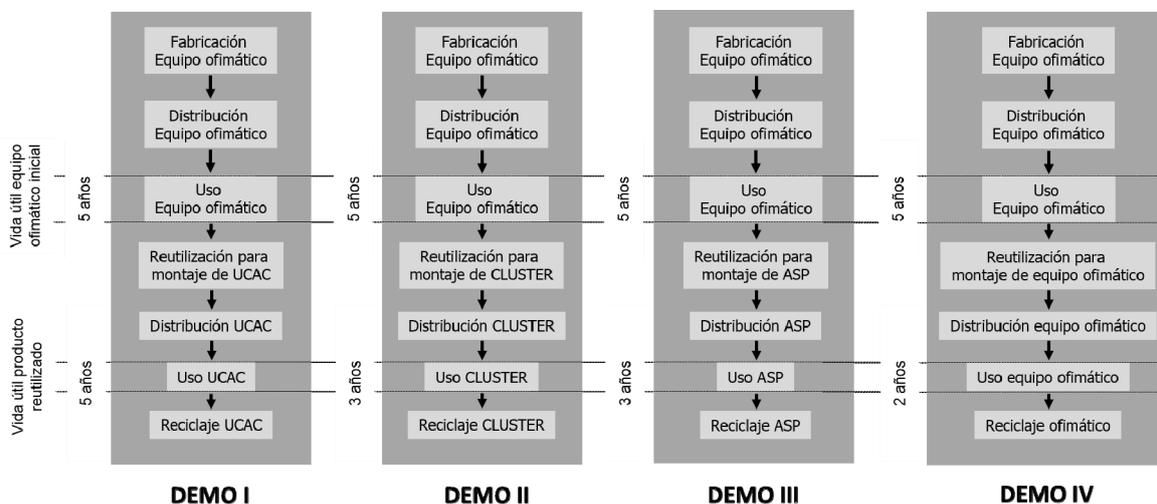


Figura 2. Sistema de producto de las cuatro variantes demostrativas.

La definición de la unidad funcional se ha realizado contemplando la futura comparativa con escenarios alternativos de reciclaje. A continuación se expone la unidad funcional establecida para cada variante demostrativa:

**Demostrativo I:** Cinco años de servicio ofimático que satisfaga las necesidades de un usuario convencional y cinco años de servicio de una Unidad Central de Adquisición de Datos y Control de Mecanismos (UCAC) en un sistema distribuido, que consista en una CPU que disponga de puerto serie, Windows XP, conexión de red y cableado ,1Gb de memoria RAM y un disco duro de 40 Gb o un equipo de características técnicas equivalentes, para controlar un sistema de iluminación y monitorización de temperatura.

**Demostrativo II:** Cinco años de servicio ofimático que satisfaga las necesidades de un usuario convencional y tres años de servicio de un Equipamiento Estándar para Computación Distribuida (CLUSTER), compuesto por 20 CPU que dispongan como mínimo de 2Gb de memoria RAM, procesador Pentium IV o equivalente, un disco duro de 80 GB, una tarjeta de red de 100 Mb, alimentados por fuentes de 400W (5 por cada unidad de CLUSTER) y cableado; o un equipo de características técnicas equivalentes, destinado al cálculo y simulación científica.

**Demostrativo III:** Cinco años de servicio ofimático que satisfaga las necesidades de un usuario convencional y tres años de servicio de un sistema de seguridad perimetral (ASP), que consista en una CPU que disponga como mínimo 1GB de memoria RAM, un disco duro de 80 GB, cableado y 2 tarjetas de red, alimentada por una fuente de 300W, o un equipo de características técnicas equivalentes, para proteger la intranet de una empresa que cuenta con 20 equipos informáticos.

Demostrativo IV: Siete años de servicio ofimático que satisfaga las necesidades de un usuario convencional cubiertos por equipamiento informático completo tipo Pentium IV, se incluyen entre los propósitos de este análisis el estudio de la pantalla y los equipos periféricos, como el ratón y el teclado.

El enfoque seleccionado para el presente estudio es de la cuna a la tumba (Figura 2).

A continuación se expone algunas consideraciones particulares relativas a los límites del sistema:

- Se establece que la materia prima utilizada en el proceso de reutilización, a excepción de los consumibles, no tiene impacto ambiental, porque se considera que el impacto de la fabricación de dicha materia prima corresponde a su ciclo de vida como equipo ofimático.
- En el proceso de obtención del producto procedente de reutilización se generan una serie de componentes obsoletos o deteriorados y una serie de componentes potencialmente reutilizables en otros procesos. El impacto ambiental del tratamiento posterior al proceso de preparación para la reutilización de estos componentes se considera que corresponde respectivamente al ciclo de vida como equipo ofimático y al ciclo de vida de otros productos que integren los componentes reutilizables.
- Se considera que otras actividades que puedan llevarse a cabo durante los procesos de fabricación, como actividades publicitarias, administrativas, transporte de personal, instalaciones, etc., no están dentro del sistema bajo estudio, ya que no resultan determinantes para cumplir las expectativas definidas en la unidad funcional.

### **3. Inventario**

En la etapa de inventario, se cuantifican los flujos de materia y energía asociados a cada una de las etapas en las que se divide cada uno de los sistemas objeto de estudio, de acuerdo con la unidad funcional descrita para cada variante demostrativa.

El proceso de obtención de la UCAC, CLUSTER, ASP y equipo ofimático a partir de componentes reutilizados de equipos ofimáticos convencionales es la etapa más relevante de este estudio de ACV, de acuerdo con los objetivos planteados. Para completar el inventario de esta etapa se dispone de datos específicos, obtenidos por medición directa en dos islas de trabajo que reproducen a escala los procesos de preparación para la reutilización de las diferentes variantes demostrativas. El diseño y puesta en marcha de las islas de trabajo se enmarca en otra de las acciones de implementación del proyecto ecoRaee<sup>2</sup>. Además, la empresa REVERTIA Reusing & Recycling S.L., participante del proyecto ecoRaee, ha aportado datos específicos de su

---

<sup>2</sup> Acción B.3 Layout del proceso a demostrar ([http://www.life-ecoraee.eu/es/etapa\\_b.php#b3](http://www.life-ecoraee.eu/es/etapa_b.php#b3))

actividad productiva, para completar el inventario en aquellos procesos no cubiertos por las islas de trabajo.

Para completar los datos del inventario relativos a tareas en las que no fue posible disponer de datos específicos, así como otras etapas del ciclo de vida y procesos genéricos se han utilizado datos de referencia, procedentes de base de datos de Ecoinvent 2.2, integrada en el software Simapro, así como diversas fuentes bibliográficas.

### **Inventario de la etapa de fabricación**

Este proceso tiene en cuenta la fabricación de los siguientes elementos: torre, pantalla, teclado y ratón óptico. Se han seleccionados estos elementos por ser los necesarios para cubrir la capacidades computacionales requeridas por un usuario habitual. Las emisiones y cargas ambientales de los procesos de fabricación de cada uno de los cuatro elementos se han determinado a partir del inventario de materiales que componen cada aparato y las bases de datos del programa SimaPro, particularizadas para el objeto del estudio en concreto.

La

Tabla 1 refleja la correspondencia entre los componentes que forman parte de la unidad funcional con la correspondiente entrada en la base de datos de Ecoinvent.

<b>Componentes ordenador</b>	<b>Correspondencia con la base de datos de Ecoinvent 2.2</b>	<b>Peso SimaPro</b>
<b>Torre</b>	Desktop computer, without screen, at plant/p/GLO	11,3 kg
<b>Pantalla CRT 17"</b>	CRT screen, 17 inches, at plant/GLO U	19,9 kg
<b>Pantalla LCD 17"</b>	LCD flat screen, 17 inches, at plant/GLO U ordenador	5,14 kg
<b>Teclado</b>	Keyboard, standar version, at plant/GLO U ordenador	1,18 kg
<b>Ratón óptico</b>	Mouse device, optical, with cable, at plant/GLO U ordenador	0,12 kg

Tabla 1. Desglose de los componentes de un ordenador de sobremesa y su correspondencia con la base de datos empleada (dato de peso extraído de las fichas unitarias de SimaPro, sin tener en cuenta el embalaje).

El proceso de fabricación comprende toda la cadena de producción, es decir, la obtención de materias primas aguas arriba de la cadena de procesamiento, la producción de componentes individuales y ensamblaje de los mismos, el transporte y el embalaje asociado. Para tener en cuenta los bienes de equipos, se utiliza la amortización lineal, teniéndose la vida útil prevista de los mismos.

### **Inventario de la etapa de distribución**

Los datos para el análisis del inventario de la distribución de un equipo informático a mayoristas y puntos de venta se basan en los supuestos seguidos por Siddharth Prakash y Karsten Schischke, 2012 acerca de la red de distribución europea y estimaciones propias. Partiendo de estas premisas, se considera que la cadena de distribución consta de cuatro fases principales, que se detallan en la siguiente tabla:

Tipo de transporte	Correspondencia con la base de datos de Ecoinvent 2.2	Distancia recorrida
Transporte desde los centro de producción hasta el aeropuerto	Transport, lorry 16-32 t, EURO 4	500 km
Transporte aéreo	Transport, airfreight, intercontinental	10.000 km
Transporte desde el aeropuerto a los minoristas	Transport, lorry 7.5-16 t, EURO 4	1.000 km
Transporte desde minorista hasta el usuario final	Transport, car diesel, fleet average of 2010	5 km
<b>Diesel (57,5%)</b>	Transport, car, petrol, fleet average 2010/RER U	5 km
<b>Gasolina (42,5%)</b>		

Tabla 2. Hipótesis planteadas para modelar el proceso de distribución.

### Inventario de las etapas de uso

En la Tabla 3 se recogen los datos de consumo energético durante su primera vida útil para el equipo informático procedente de materias primas vírgenes (Energía consumida VU1) y la energía consumida por cada uno de los productos resultantes del proceso de preparación para la reutilización (Energía consumida VU2).

Se considera que los impactos debidos a la fase de uso son debidos a la electricidad consumida por el equipo durante su vida útil. No se han considerado operaciones de mantenimiento ya que la vida útil definida para cada producto considera la duración estimada del producto sin necesidad de reparaciones.

Producto procedente de reutilización	Energía consumida VU1 (kWh)	Energía consumida VU2 (kWh)
UCAC (Demo I)		3063
CLUSTER (Demo II)		47304
ASP (Demo III)	1173,6	1393
Equipo ofimático reutilizado (Demo IV)		382

Tabla 3. Consumo energético de la etapa de uso. (Fuente: elaboración propia a partir de EnergyStar; IVF, 2007; Teehan y Kandlikar, 2012; Yu et al., 2010 y medición directa).

### **Inventario de las etapas de fin de vida**

La etapa de fin de vida empieza cuando el producto utilizado es desechado por el usuario y termina cuando el producto vuelve a la naturaleza como residuo o entra en el ciclo de vida de otro producto, como entrada de material.

En el presente estudio se distinguen dos etapas diferenciadas de fin de vida: por una parte el proceso de preparación para la reutilización al que se somete el equipo informático fabricado a partir de materias primas vírgenes al término de su primera vida útil y por otra parte el reciclaje de los productos obtenidos tras el proceso de preparación para la reutilización, al término de su vida útil, junto con el reciclaje de la fracción que no ha sido posible reutilizar.

#### Etapa de preparación para reutilización

Los procesos de preparación para reutilización constan, de manera general, de una fase de recepción, una de caracterización y tratamiento y una fase de expedición. Cada una de estas fases se compone de tareas y sub-tareas, que constituyen los procesos unitarios de la etapa de preparación para reutilización. Cada una de las fases se ha particularizado en función del producto resultante, presentando tareas, procesos y dinámicas operativas particularizadas según los requerimientos del producto reutilizado en cada caso, correspondiente a cada variante demostrativa.

Los datos de inventario de la etapa de preparación para reutilización constituyen datos empíricos, recogidos por medición directa en dos islas de trabajo construidas en función de las especificaciones reflejadas en el diseño del proceso para cada uno de los demostrativos. En las islas, se ha procesado una cantidad discreta de muestras para cada demostrativo, que ha permitido obtener datos de referencia del proceso de preparación para la reutilización, ya que no existen en la actualidad estudios o bases de datos que aporten datos rigurosos relativos a procesos similares.

El inventario de esta etapa comprende todas las entradas de material, uso de maquinaria y consumo energéticos asociados a cada una de las tareas. Como salidas principales de los procesos se han establecido los productos reutilizados, componentes de recambios, material enviado a reciclaje y hacia otros ciclos de vida. Para establecer la asignación de cargas entre los distintos co-productos se ha utilizado como factor de ponderación la masa de los mismos. En relación a los componentes resultantes del proceso capaces de sustituir otros productos análogos, se ha utilizado el criterio de extensión de los límites del sistema, teniendo en cuenta la reducción en la vida útil del componente reutilizado. El sistema expansión o la opción de sustitución es un procedimiento que predomina en ACV

de residuos (Zhao et al., 2009). Además de estos datos específicos, se han empleado datos bibliográficos para completar el inventario relativo a tareas necesarias pero no fundamentales en el proceso de preparación para la reutilización, como la producción eléctrica, la logística, etc.

### Etapa de reciclaje

La etapa de reciclaje constituye el fin de vida de los componentes no susceptibles de ser reutilizados y los productos obtenidos por preparación para reutilización en cada caso al final de su propia vida útil. Comprende la clasificación y segregación de los desechos electrónicos y el posterior tratamiento de las diversas fracciones.

Los datos de inventario de las distintas fases de reciclaje se han modelado realizando una serie de modificaciones, fundamentadas en las premisas establecidas por Hirsch et al., 2005, sobre las fichas unitarias de Ecoinvent de tratamiento de residuos para que represente un proceso completo de reciclaje de los productos que se obtienen a partir de este tratamiento.

## **4. Evaluación de impacto**

Se han evaluado las 18 categorías de impacto contenidas en la metodología ReCiPe. Esto permite analizar la importancia ambiental de cada una de las etapas del ciclo de vida de los sistemas planteados para cada variante demostrativa.

### **4.1 Ciclo de vida completo**

Los resultados de evaluación de impacto del ciclo de vida completo se muestran en las Figura 3, Figura 4, Figura 5 y Figura 6.

Los resultados del ciclo de vida del sistema planteado para el demostrativo I, evidencian que el consumo energético registrado durante la vida útil (incluyendo consumo energético del equipo ofimático fabricado a partir de materias primas vírgenes y de la UCAC durante sus respectivas vidas útiles) es el que genera un mayor impacto en el conjunto del ciclo de vida estudiado, en 11 de las 18 categorías de impacto analizadas.

El proceso de obtención de una UCAC mediante reutilización supone un beneficio ambiental en todas las categorías de impacto a excepción de la ocupación de terreno agrícola (ALO). La etapa de reciclaje también aporta un beneficio ambiental en ciertas categorías de impacto; sin embargo, no se considera relevante en relación al derivado de la etapa de preparación para reutilización.

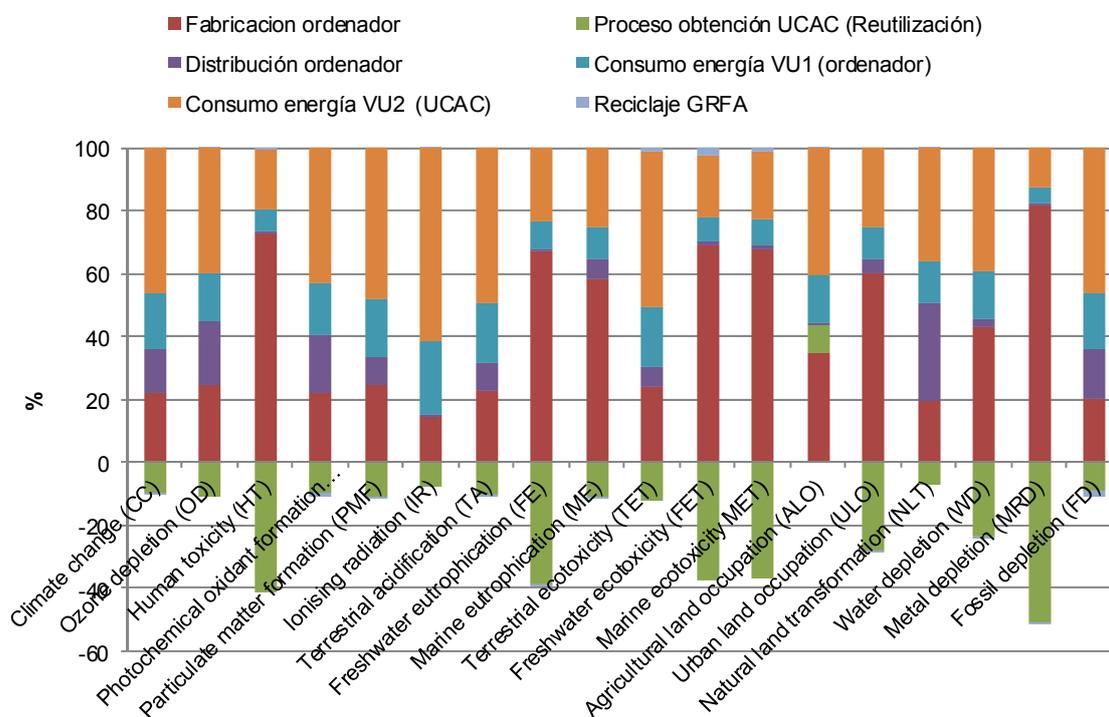


Figura 3. Evaluación de impacto del ciclo de vida de un ordenador cuyo destino al final de su vida útil es la preparación para la reutilización para obtener una UCAC (Demo I). Metodología ReCiPe MidPoint (H).

En la variante demostrativa II, las etapas del ciclo de vida de mayor influencia en los impactos ambientales estudiados son las etapas de uso y la etapa de obtención del CLUSTER a partir de preparación para reutilización.

El proceso de obtención de un CLUSTER mediante preparación para reutilización supone un beneficio ambiental en todas las categorías de impacto a excepción de la ocupación de terreno agrícola (ALO). Como puede observarse en la Figura 4, el beneficio ambiental derivado de la etapa de preparación para la reutilización es capaz de compensar los impactos nocivos generados en las restantes etapas del ciclo de vida en 5 categorías de impacto (la toxicidad humana (HT), la eutrofización del agua dulce (FE), la ecotoxicidad acuática (agua dulce y marina, FET y MET) y la disminución de los recursos minerales (MD).

En esta variante, el proceso de fabricación del armario contenedor y su sistema de refrigeración, así como el reciclaje de ambos elementos, se presentan de forma individualizada ya que, a pesar de formar parte del producto derivado del proceso de reutilización, no provienen directamente de este proceso.

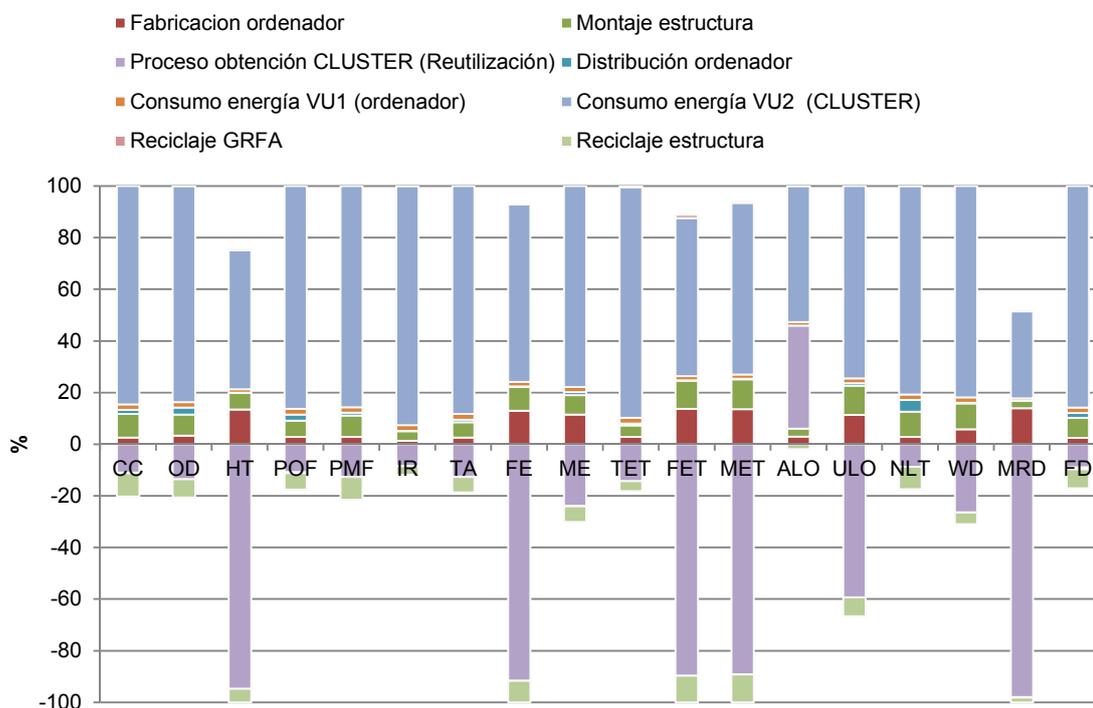


Figura 4. Evaluación de impacto del ciclo de vida de un ordenador cuyo destino al final de su vida útil es la preparación para la reutilización para obtener un CLUSTER (Demo II). Metodología ReCiPe MidPoint (H).

Al igual que en los demostrativos anteriores, en la variante demostrativa III la etapa de uso tiene una contribución importante en cuanto a impactos negativos, en este caso en 8 de las 18 categorías analizadas. La etapa de fabricación de un ordenador a partir de materias primas vírgenes es la etapa que más impacto negativo en las 9 categorías restantes.

El beneficio ambiental resulta de los productos que se evitan fabricar al llevar a cabo el proceso de preparación para reutilización, llegando a compensar hasta una tercera parte de los impactos ambientales negativos generados por las restantes etapas.

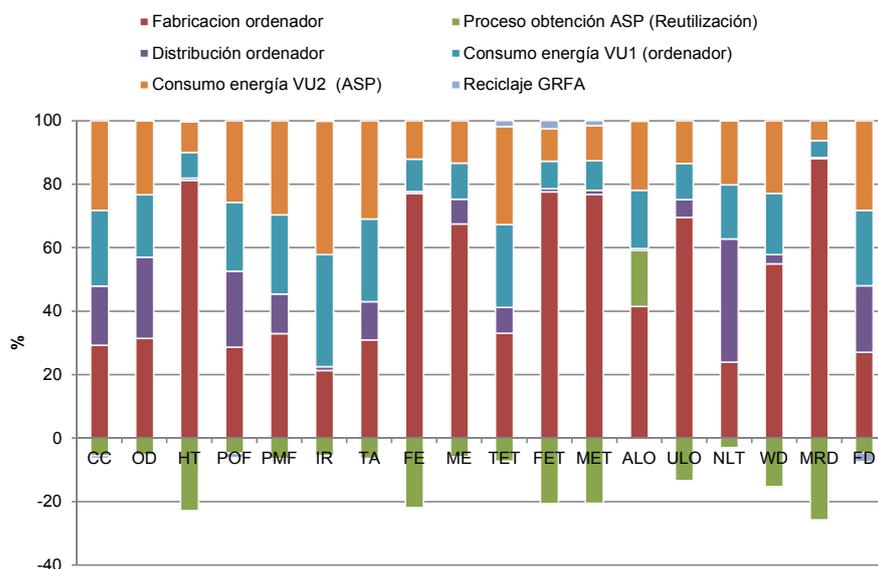


Figura 5. Evaluación de impacto del ciclo de vida de un ordenador cuyo destino al final de su vida útil es la preparación para la reutilización para obtener un ASP (Demo III). Metodología ReCiPe MidPoint (H).

En la variante demostrativa IV, la etapa de fabricación del equipo ofimático a partir de materias primas vírgenes es la etapa que mayor contribución presenta en las categorías de disminución de la capa de ozono (OD), toxicidad humana (HT), eutrofización de agua dulce (FE), eutrofización marina (ME), ecotoxicidad de agua dulce (FET), ecotoxicidad marina (MET), ocupación del terreno agrícola (ALO), ocupación del terreno urbano (ULO), disminución de la cantidad de agua dulce (WD) y agotamiento de los recursos minerales (MRD). La suma del consumo energético del puesto informático durante las dos etapas de su vida útil, supone el mayor impacto en 7 de las categorías de impacto estudiadas.

La etapa correspondiente a la preparación para la reutilización supone beneficios ambientales todas las categorías de impacto consideradas, excepto la relativa a la ocupación de terreno agrícola (ALO). En ninguna de las categorías de impacto el beneficio ambiental es capaz de compensar los impactos ambientales negativos generados por las restantes etapas del ciclo de vida analizadas. Sin embargo, el beneficio ambiental derivado del proceso de preparación para la reutilización es relativamente significativo en las categorías de toxicidad humana (HT), eutrofización, tanto del agua dulce como marina (FE, ME), y agotamiento de los recursos minerales (MRD).

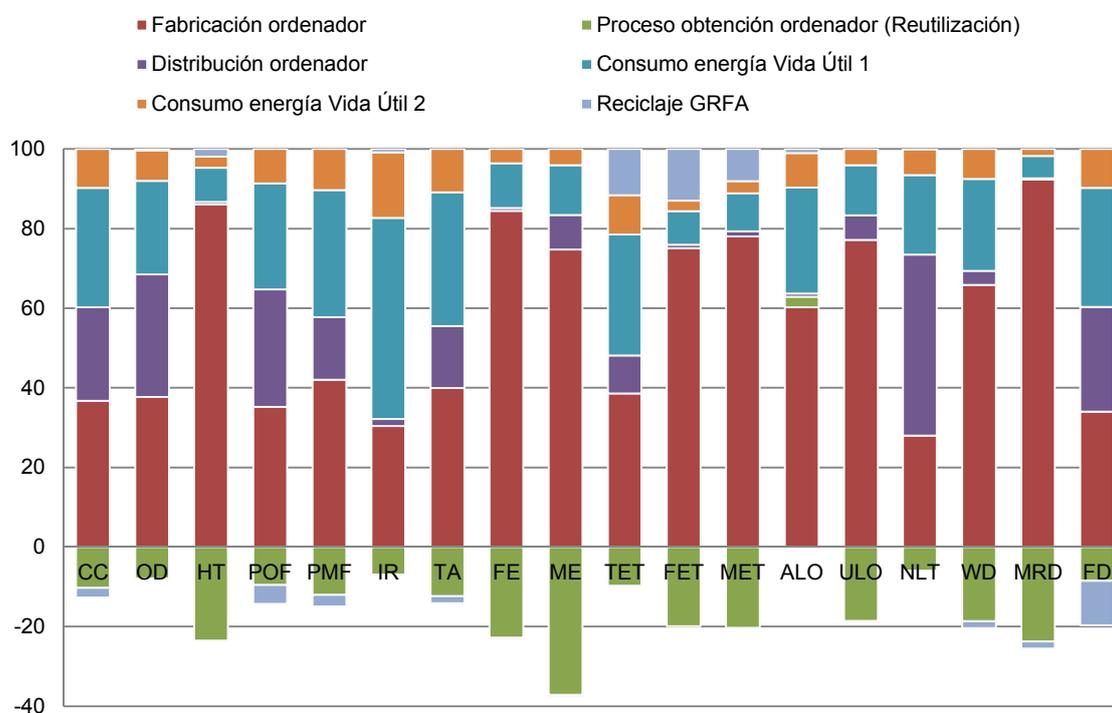


Figura 6. Evaluación de impacto del ciclo de vida de un puesto informático completo que al final de su vida útil se somete a un proceso de preparación para la reutilización para ser reutilizado por un segundo usuario (Demo IV). Metodología ReCiPe MidPoint (H).

## 4.2 Proceso de preparación para la reutilización

En el proceso de preparación para la reutilización se han diferenciado cuatro flujos principales: reutilización, que incluye el procesado, la obtención del correspondiente dispositivo listo para reutilizar y su envío al cliente final; recambios, que está constituido por el procesado y obtención de componentes funcionales que quedan almacenados en stock; reciclaje, que incluye el procesado de componentes no susceptibles de ser reutilizados que son enviados a un gestor autorizado; y reutilización en otros ciclos de vida, que representa a aquellos componentes que, a pesar de no tener cabida en el demostrativo, podría ser utilizados en otros procesos.

El beneficio ambiental de la obtención de UCACs, CLUSTER, ASP funcionales y generación de nuevos puestos informáticos completos (CPU, pantalla, teclado y ratón) procedentes de reutilización presenta un impacto ambiental positivo prácticamente en todas las categorías de impacto en todos los demostrativos, excepto en la categoría de ocupación del terreno agrícola (ALO). Esto último es debido a la hipótesis establecida para los palés utilizados como material de embalaje, que establece que no son objeto de reutilización en ningún caso.

Los flujos destinados a la reutilización directa y a la obtención de recambios son los que contribuyen de manera más importante al conjunto del proceso, generando ambos un beneficio ambiental. En concreto, estos flujos tienen una mayor importancia relativa en las variantes demostrativas II, III y IV.

El impacto negativo del proceso está asociado al flujo de reciclaje de las fracciones de los equipos ofimáticos que entran en el proceso pero no es posible reutilizar. No obstante, la magnitud del mismo es significativamente menor que el beneficio ambiental aportado por los flujos de reutilización y recambios. Los impactos negativos tienen su origen principalmente en el consumo eléctrico derivado de las distintas tareas de procesado de material y el transporte al gestor de residuos final.

## **5. Conclusiones**

En el ciclo de vida de equipamiento ofimático que al final de su vida útil se destina a reutilización, el impacto ambiental relativo de las diversas etapas depende en gran medida del producto resultante de dicha etapa y su modo de uso. De esta forma, cuando el producto reutilizado es equivalente al inicial, es la fabricación del equipo ofimático a partir de materia prima virgen la etapa que representa un mayor impacto, sin embargo, cuando los productos resultantes del proceso de reutilización tienen una funcionalidad industrial, la etapa de uso del producto resultante de la reutilización cobra importancia, presentando un impacto mayor o equivalente al de la etapa de fabricación.

El proceso de preparación para la reutilización incurre en un beneficio ambiental en todas las categorías de impacto analizadas en los cuatro demostrativos, excepto en la categoría de ocupación de terreno agrícola (ALO). Esto se debe a que con este proceso se evita la fabricación de determinados dispositivos que serían fabricados a partir de materia prima virgen.

Teniendo en cuenta que los principales impactos negativos del proceso de reutilización se deben al procesado de material y al transporte, los principales puntos de mejora del proceso de preparación para la reutilización recaerían en optimizar los tiempos de procesado y la implantación de mejoras en el sistema logístico.

## **6. Agradecimientos**

Las tareas aquí presentadas han sido desarrolladas por la Oficina de Medio Ambiente (OMA) de la Universidad de Vigo y EnergyLab. Tanto la OMA como EnergyLab quieren agradecer a Revertia, al grupo CIMA, al Departamento de Ingeniería Eléctrica de la E.E. Industrial y al Departamento Ingeniería Informática de la E.S.E. Informática de la Universidad de Vigo, su contribución a este estudio. Agradecemos asimismo al convenio entre la Universidad de Vigo y la asociación CONAMA 14.

## 7. Bibliografía

AENOR (2006). UNE-EN-ISO 14040: Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia. AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación).

AENOR (2006). UNE-EN-ISO 14044. Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y Directrices. AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación).

European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability (2010). International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment. First edition March 2010. EUR 24708 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union.

ETSI (2011). Environmental Engineering (EE); Life Cycle Assessment (LCA) of ICT equipment, networks and services; General methodology and common requirements. ETSI (European Telecommunications Standards Institute) ETSI TS 103 199.

Hischier, R., Wäger, P. y Gaughhofer, J. (2005). Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective?: The environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE). Environmental Impact Assessment Review, 25, 525-539.

IVF (2007). Lot 3 Personal Computers (desktops and laptops) and Computer Monitors. IVF (Industrial Research and Development Corporation) Report 07004. ISSN 1404-191X

Siddharth Prakash, R. L., y Karsten Schischke, D. L. (2012). Timely replacement of a notebook under consideration of environmental aspects. Umweltbundesamt.

Teehan, P., y Kandlikar, M. (2012). Sources of Variation in Life Cycle Assessments of Desktop Computers. Journal of Industrial Ecology, 16, 182-194.

Unión Europea. Recomendación de la Comisión del 9 de abril de 2013 sobre el uso de métodos comunes para medir y comunicar el comportamiento ambiental de los productos y las organizaciones a lo largo de su ciclo de vida. Diario Oficial de la Unión Europea L 124, 9 de abril de 2013, 1-210.

Yu, J., Williams, E., Ju, M., y Yang, Y. (2010). Forecasting Global Generation of Obsolete Personal Computers. Environmental Science & Technology, 44, 3232-3237

Zhao W., van der Voet E., Zhang Y. Y Huppel G. (2009). Life cycle assessment of municipal solid waste management with regard to greenhouse gas emissions: Case study of Tianjin, China. Science of the Total Environment, 407, 1517-1526.