



## Definición de un layout para el procesado de RAEE, dentro del proyecto ecoRae

**Autor:** Pablo Izquierdo Belmonte

**Institución:** Universidad de Vigo

**Otros autores:** José Antonio Vilán Vilán (Universidad de Vigo); Enrique Casarejos Ruíz (Universidad de Vigo)

## Resumen

Actualmente uno de los principales problemas en el ámbito del reciclaje es el amplio crecimiento que están teniendo los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) cuya correcta gestión será un reto a afrontar por la sociedad en los próximos años. En la Unión Europea estos residuos crecen a un ritmo tres veces más rápido que el resto de los residuos sólidos y ya suponían en 2004 el 4% del total.

El proyecto ecoRaee (Demostración de un proceso de reutilización de RAEE para la promoción de estándares de acuerdo con la normativa europea), financiado dentro del programa europeo Life (LIFE 11 ENV/ES/574), nace con la ambición de resolver el problema de los RAEE de un modo viable desde un punto de vista no sólo técnico-ambiental, sino también económico, pretendiendo así ofrecer soluciones viables que permitan superar las barreras que están impidiendo que se alcancen con éxito los objetivos recogidos en las normativas existentes. El objetivo principal del proyecto es la caracterización y demostración posterior de un proceso industrial de Preparación para Reutilización de Equipos Electrónicos con el fin de promover estándares para la transposición de la normativa europea en RAEE y contribuir a un alto nivel de separación de RAEE (desde el 45% al 65% en los próximos años).

Dentro de dicho proyecto, este artículo hace referencia a la acción B.3 del mismo: LAYOUT DEL PROCESO A DEMOSTRAR. Se trata de una acción pre-demostrativa en la cual se incluye el diseño del Layout en planta del proceso, la implantación en el Laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Vigo de una planta piloto (isla de procesado de RAEE), así como su puesta en marcha

**Palabras clave:** reciclaje, reutilización, Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, RAEE, programa LIFE, ecoRaee

## Introducción al proyecto ecoRaee y estudios previos sobre reutilización/reciclaje

La generación de RAEE (*Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos*) ha crecido en la UE, durante los últimos años, tres veces más rápido que la del resto de los residuos sólidos, y según datos del Eurostat, en 2008 ya suponían más del 4% del total de residuos generados en Europa. La problemática ambiental de los RAEE es especialmente importante debido a la presencia de diversos tipos de materiales entre sus componentes, desde vidrios a plásticos y también metales y, en particular, muchos de ellos son metales pesados como plomo, mercurio y cadmio, u otros aún más tóxicos como el selenio y el arsénico, lo que hace que un inadecuado proceso de reciclaje o reutilización de los RAEE libere al aire, suelo y/o agua grandes cantidades de toxinas.

Debido a esto, la gestión de los RAEE es uno de los principales problemas ambientales y de tratamiento de residuos actualmente, y además creciente, a los que se enfrentará la sociedad y la industria en los próximos años. Esta problemática es todavía más seria ya que se estima que hoy en día más del 85% de los RAEE no se recogen ni procesan de manera selectiva, pese a la existencia de normativas europeas (entre otras, la Directiva 2002/96/EC) con las que se pretende fomentar la recogida, reciclado y recuperación de cualquier tipo de aparato eléctrico.

El proyecto ecoRaee (*Demostración de un proceso de reutilización de RAEE para la promoción de estándares de acuerdo con la normativa europea*), ver Figura 1, financiado dentro del programa europeo Life (LIFE 11 ENV/ES/574) [1], nace con la ambición de resolver el problema de los RAEE de un modo viable desde un punto de vista no sólo económico y técnico sino también ambiental, pretendiendo así ofrecer soluciones que permitan superar las barreras que están impidiendo que se alcancen con éxito los objetivos recogidos en las normativas existentes.

La Universidad de Vigo es impulsora y líder de este proyecto, formando consorcio con revertia (empresa especializada en la gestión de residuos) y Enerylab (centro tecnológico de eficiencia y sostenibilidad energética). Por parte de la Universidad de Vigo están participando en este proyecto varios Grupos de Investigación, dedicados a dar aportación soluciones económicas, legislativas y técnicas al procesado de RAEE. En concreto, el Grupo CIMA (Centro de Ingeniería Mecánica y Automoción), adscrito al Área de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Vigo, y ubicado en la Escuela de Ingeniería Industrial, asume la tarea de definir técnicamente un proceso optimizado para el reciclaje y reutilización de los RAEE. Para alcanzar dicho objetivo, el Grupo CIMA realizará un diseño optimizado del lay-out del proceso industrial necesario para la reutilización y reciclaje de equipos informáticos, mediante la definición, el montaje y la puesta en marcha de dos islas prototipo de trabajo con las que se pretende ensayar y validar este proceso de tratamiento (reutilización y reciclaje) de los RAEE.



The banner features the title 'ecoRaee' in large, stylized letters. 'eco' is in blue, 'Ra' is in black, and 'ee' is in a lighter blue. Below the title, there is a blue rectangular area containing project details in small text. At the bottom of the banner, there is a dark blue bar with logos for 'Life' (EU flag), 'Universidade de Vigo', 'energylab', and 'revertia'.

**ecoRaee**

Demostración de un proceso de reutilización de RAEE para la promoción de estándares de acuerdo con la normativa europea

**Programa**  
Life 11 ENV/ES/574

**Consortio**  
Tres socios de Galicia (España)

**Coordinador**  
Universidade de Vigo

**Socios**  
revertia  
EnergyLab

**Objetivo principal**  
Demostrar que, a través de la reutilización, se puede resolver el problema de los RAEE de un modo viable desde un punto de vista económico, técnico y ambiental.

**Duración**  
36 meses

**Fecha de inicio**  
2 de julio de 2012

**Fecha de finalización**  
30 de junio de 2015

**Presupuesto**  
1.269.155 €

**Contribución UE**  
622.038 € (50% del presupuesto elegible)

Figura 1: proyecto ecoRaee

Para abordar el presente proyecto, se han tenido en cuenta proyectos anteriores relacionados con el procesado de RAEE. La mayoría de ellos hacen referencia al reciclado, siendo muy poco a día de hoy los que se refieren a la reutilización de equipos útiles, que es lo que se aborda en el presente proyecto.

En cuanto a la gestión de residuos electrónicos, ha sido abordado por diversos autores en numeroso países, como son Queiruga et al., 2012 [2] que hace referencia a la gestión de dichos residuos en España, comparándolo con propuestas de otros países, como por ejemplo, Suiza, país pionero en la gestión de este tipo de residuos.

Wäger et al. 2011. [3] han comparado ya el escenario actual (año 2009) del reciclado de RAEE en Suiza respecto del escenario existente anteriormente (año 2004), valorando que se ha reducido el impacto ambiental de la recolección de RAEE en dicho país un 14% entre dichos años, gracias a una mejor gestión de los mismos, y a las iniciativas políticas llevadas a cabo. Esto hace que Suiza sea un ejemplo a seguir por muchos otros países en cuanto a la normativa de gestión de RAEE, especialmente en el caso de países emergentes o en vías de desarrollo, como han estudiado diversos autores para Sri Lanka (Mallawarachchi and Karunasena, 2012 [4]), Brasil (Oliveira et al. 2012 [5]), India (Wath et al., 2010 [6]) y China (Wei and Liu, 2012 [7]).

Otros autores como Laurent et al., 2013 [8] revisa distintos estudios sobre gestión del reciclaje de residuos sólidos, no sólo RAEE, pero en relación a estos últimos, hace mención especial a su gestión tomando la normativa Suiza como referente. Un paso importante, necesario para la gestión de RAEE, dada la gran diversidad de

equipamiento y productos electro-electrónicos existentes y sus residuos, es su caracterización previa, con la finalidad de plantear políticas concretas según el tipo de producto de que se trate. Autores como Menad et al., 2013 [9] plantean una nueva caracterización de los mismos en base a diversos parámetros: existencia de materiales plásticos y/o metálicos, composición (especialmente en relación a sustancias peligrosas), tamaño medio y forma de los componentes, etc.

Estos autores analizan dos grandes muestras de productos determinando en cada uno de ellos los porcentajes de componentes plásticos, metálicos y no metálicos existentes, los tamaños de las piezas, etc., en aras de facilitar futuras estrategias para su gestión.

Varios autores han desarrollado herramientas para permitir un estudio del impacto ambiental del procesado de RAEE como Achillas et al., 2010 [10], centrado en optimizar, mediante modelos matemáticos propuestos aplicados a un caso real, distintos métodos de transporte de equipamiento (camiones, trenes, barcos, etc.), para mejorar la distribución de los centros de procesado de RAEE y la logística que ello implica.

Por último, otros autores como Manfredi and Goralczyk, 2013 [11], utilizan indicadores basados en el ciclo de vida para proponer estrategias de reciclaje en la Unión Europea.

En cuanto a la reutilización de equipamiento eléctrico-electrónico, y en concreto de la reutilización de equipos informáticos, actualmente no se han desarrollado aún muchos estudios al respecto, destacando por ejemplo el acometido por Truttmann and Rechberger, 2006 [12] en el que se muestra que la reutilización de componentes por un lado alarga la vida de uso del producto, pero por otro lado, mantienen en el mercado elementos obsoletos, menos eficientes. No obstante, sus estudios revelan que la reutilización de todo tipo de AEE implica un ahorro de un 12% de energía, siendo los equipos informáticos personales los más significativos, con un 5,4%, por lo que un primer esfuerzo para llevar a cabo políticas adecuadas de reutilización se debe centrar en PCs.

### Acción técnica B.3: LAYOUT DEL PROCESO A DEMOSTRAR. Diseño de la isla.

La definición y diseño del proceso de reutilización y reciclaje de RAEE se basa en la premisa de que a partir de un equipo informático en desuso, y recogido de forma adecuada, se puede proporcionar un equipo “semi-nuevo” al usuario final, reutilizando todos aquellos componentes válidos, y reciclando de forma adecuada aquellos que no lo son (Figura 2).



Figura 2: secuencia conceptual del proceso de reutilización y reciclado de RAEE

En base a esta secuencia, el Grupo CIMA ha diseñado un lay-out para el proceso industrial necesario para la reutilización y reciclaje de los RAEE. Hay que tener en cuenta que una gran parte de las tareas a realizar para la gestión de RAEE son esencialmente manuales, por lo que, uno de los aspectos en los que se hizo especial hincapié es la de diseñar los puestos de trabajo de los operarios atendiendo a aspectos de ergonomía, seguridad e higiene en el puesto de trabajo.

El Grupo CIMA realizó varias propuestas conceptuales para la disposición de los puestos de trabajo sin tener en cuenta posibles limitaciones de espacio para la realización de las distintas tareas y para el almacenaje de equipos y componentes (Figura 3, superior).

Para optimizar los espacios necesarios y facilitar su montaje en los Laboratorios del Área de Ingeniería Mecánica de la Universidad, finalmente se definió un concepto de isla para el procesado de los RAEE basado en la disposición del operario en el centro del proceso, de modo que se facilita su accesibilidad a los distintos puestos de trabajo y/o de almacenamiento de componentes, que estarían situados a su alrededor (Figura 3, inferior)

Siguiendo el modelo conceptual de diseño planteado, se definió un modelo virtual tridimensional completo del proceso, en el que ubicar las distintas tareas a realizar en los equipos para su reutilización y reciclaje. Para ello, se ha tenido en cuenta que existen una serie de operaciones a realizar en todos los equipos que se reciben y otras que sólo se realizan a ciertos equipos en función del estado en el que se reciben. Para adecuarse a estos dos tipos de operaciones, el lay-out que se define, tal y como se muestra en la Figura 4, contempla dos flujos de trabajo: uno rápido, para aquellos equipos que por el estado de sus componentes necesitan únicamente un procesado básico; y otro más lento, para aquellos equipos que necesitan mayor cantidad de operaciones de reparación y/o desmantelamiento.

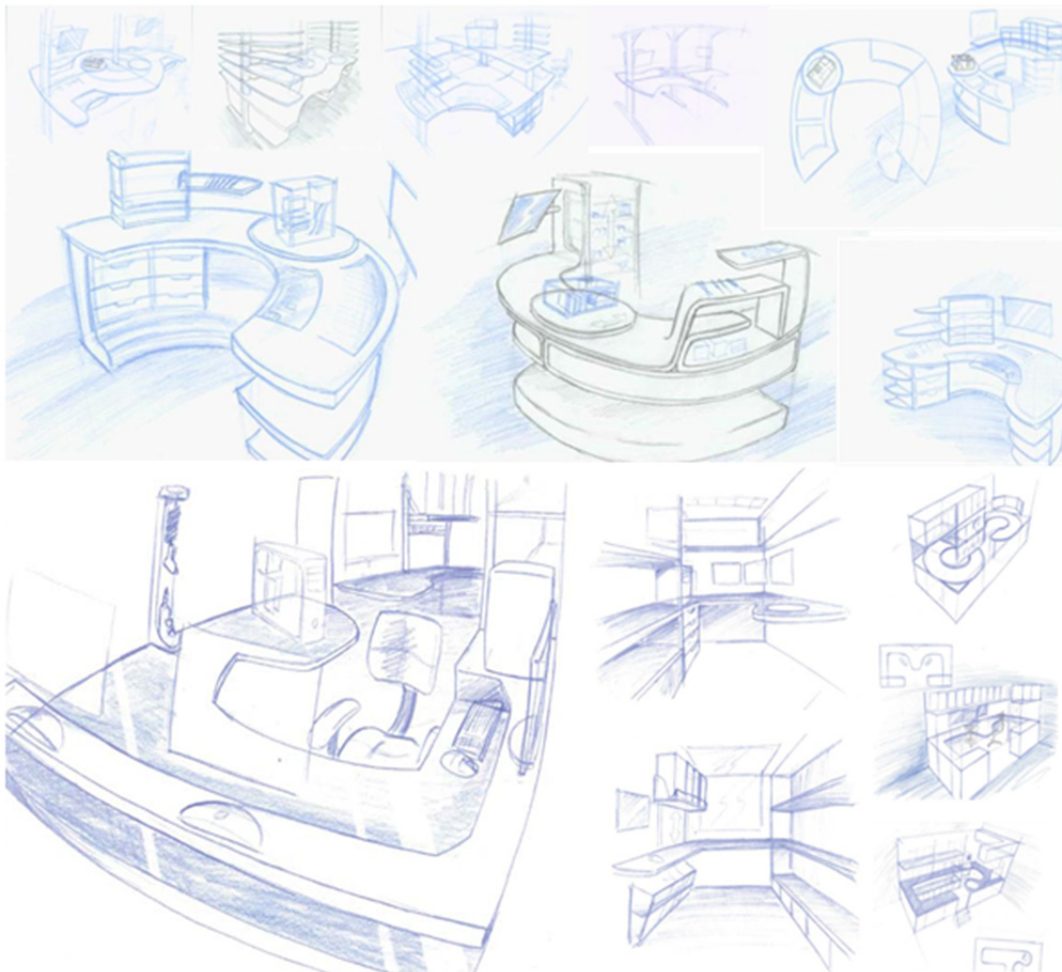


Figura 3: conceptos definidos para las islas de trabajo y procesamiento de RAEE: inicial (superior) y definitivo (inferior)

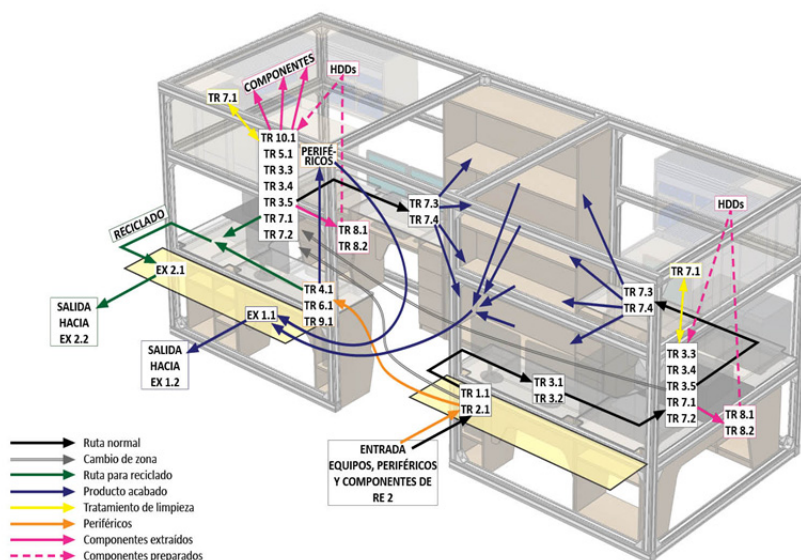


Figura 4: modelo tridimensional del flujo de trabajo para el procesado de RAEE  
En paralelo a la definición del flujo de trabajo, se determinó el equipamiento necesario para cada puesto de trabajo, incluyendo todas las herramientas de desmontaje, limpieza, equipos auxiliares de formateo de discos duros, identificación de equipos e instalación de software y puntos de toma de corriente (Figura 5).

En relación a este último aspecto, está previsto que todas las tomas se puedan monitorizar, registrando así el gasto energético requerido en las distintas operaciones para evaluar su impacto en la huella de carbono, ya que uno de los objetivos definidos en el proyecto ecoRae, dentro de las tareas de monitorización de resultados, es determinar el impacto ambiental del proceso de reutilización/reciclaje de equipos.

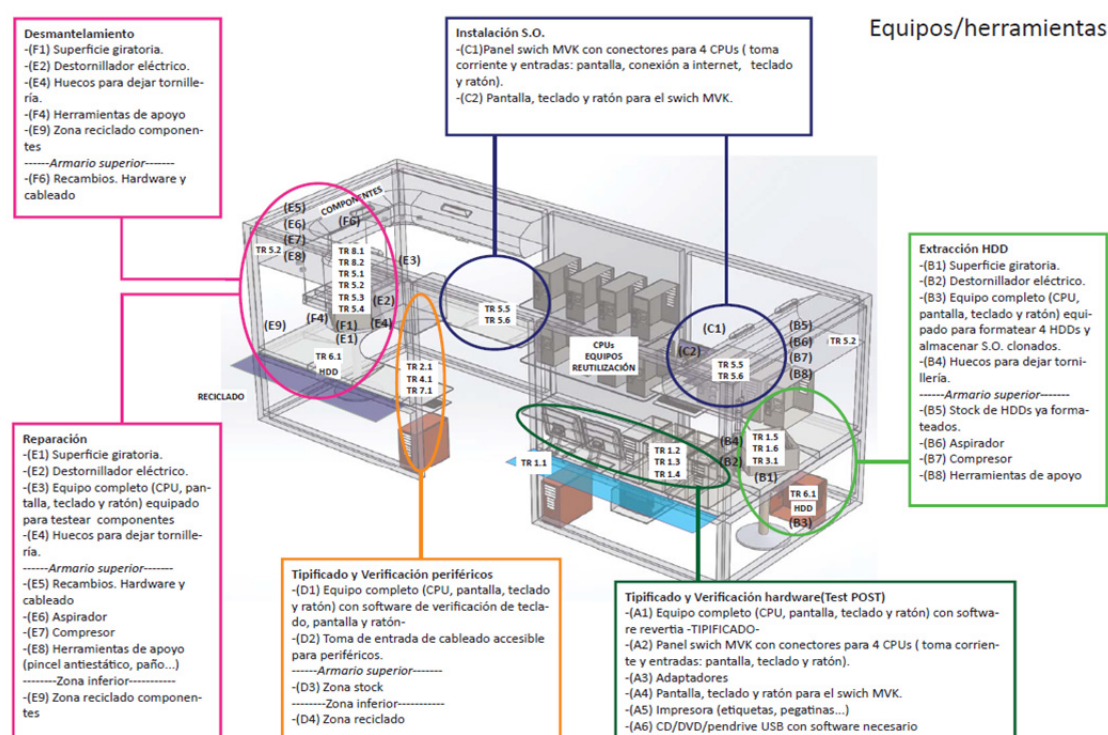


Figura 5: equipos/herramientas necesarios por puesto de trabajo

El Grupo CIMA ha trabajado en el montaje de la primera de las islas prototipo en las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Vigo, estando operativa en marzo de 2014, en base a los modelos infográficos indicados en la siguiente figura (Figura 6).

Con dicha isla en funcionamiento se suministrarán los equipos y componentes necesarios para distintos procesos demostrativos recogidos en el proyecto ecoRae, con los que se pretende evaluar no sólo los beneficios medioambientales de la reutilización y reciclaje de RAEE, sino también la validez de los equipos reciclados para su uso, tanto como equipos informáticos completos como de sus componentes en otros dispositivos electrónicos.





Figura 6: primeras infografías de las islas prototipo para el procesado de RAEE

### Diseño final de la isla, construcción y puesta en marcha

El Grupo CIMA trabaja actualmente con la primera isla prototipo para la reutilización y reciclado de RAEE, ubicada en el Laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidade de Vigo, en la Escuela de Ingenieros Industriales. Con el montaje y puesta en marcha de la misma, se concluyó la tarea de definir y diseñar un proceso optimizado para el reciclaje y reutilización de RAEE dentro del proyecto ecoRae. Actualmente se está en disposición de proporcionar componentes reutilizados que demuestren la viabilidad técnica y económica de este proceso, así como la evaluación

de la reducción en el impacto ambiental (huella de carbono) que supone la reutilización y reciclaje de RAEE.

En la siguiente infografía (Figura 7) se muestra el aspecto final que presentará la primera isla prototipo de reutilización y reciclaje de RAEE, ubicada en el Laboratorio de la Universidad de Vigo.

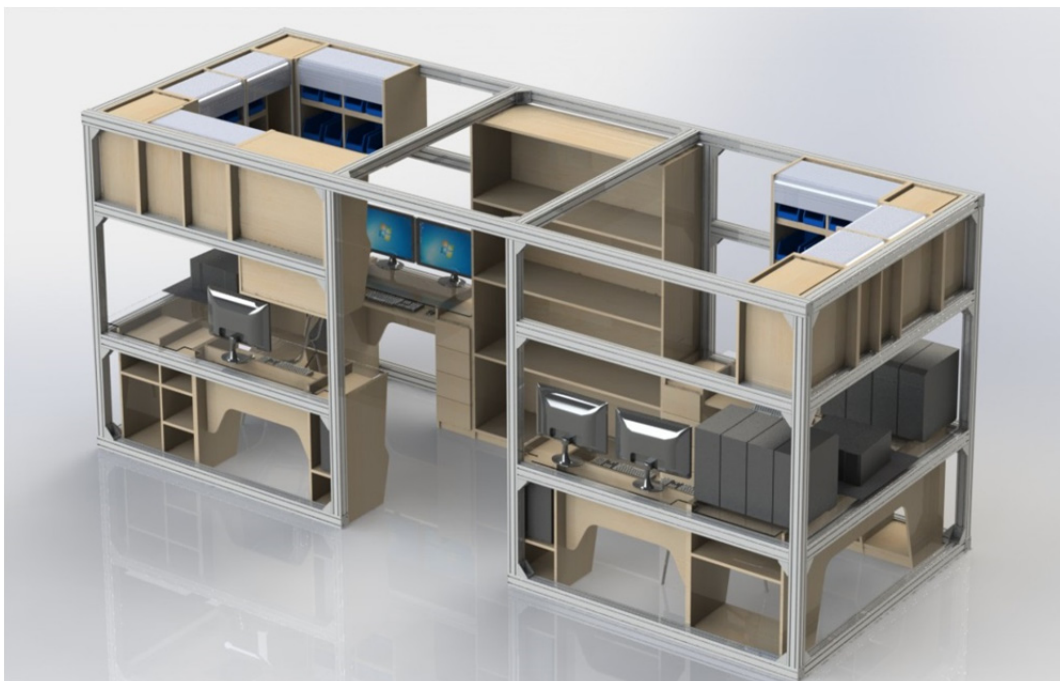


Figura 7: infografía del diseño final de las islas prototipo para el procesado de RAEE

La isla construida muestra el siguiente aspecto (Figura 8):



Figura 8: infografía del diseño final de las islas prototipo para el procesado de RAEE

Desde su puesta en marcha, en marzo de 2014, hasta la fecha, se han procesado los equipos siguientes para los tres procesos demostrativos bajo la responsabilidad de la Universidad de Vigo (más información acerca de los demostrativos en la web del proyecto [13]).

En concreto, se ha hecho un primer procesado de equipos para las tres demos responsabilidad de la Universidad de Vigo, ya finalizado antes de agosto, con los siguientes resultados:

**- Demo1.**

12/05/2014-19/05/2014 – 6 días de procesado

33 equipos procesados (358,85kg), de los cuales, 7 equipos (75,23kg) fueron válidos para reutilizar: 21% a reutilización

**- Demo2.**

26/05/2014-03/03/2014 – 7 día de procesado

23 equipos procesados (299,44kg), de los cuales se obtuvieron los siguientes componentes (14,84kg): 12 discos duros, 6 fuentes de alimentación y 3 placas base

**- Demo3.**

19/05/2014-23/05/2014 – 5 días de procesado

42 equipos procesados (417,44kg), de los cuales, 7 equipos (79,98kg) fueron válidos para reutilizar: 17% a reutilización

Actualmente se está haciendo un segundo procesado de equipos, y ya se tienen resultados para las demos 1 y 3, mientras que los de la demo 2 aún están siendo analizados, con los siguientes resultados previos:

**- Demo1.**

05/06/2014-14/07/2014 – 20 días de procesado

90 equipos procesados (934,9kg), de los cuales, 20 equipos (394,76kg) fueron válidos para reutilizar: 22% a reutilización

**- Demo3.**

15/07/2014-12/08/2014 – 20 días de procesado

68 equipos procesados (697,6kg), de los cuales, 16 equipos (177,59kg) fueron válidos para reutilizar: 24% a reutilización

**- Demo2.**

18/08/2014-actualmente – en proceso, con aproximadamente un aprovechamiento del 100% de los discos duros y de la mitad de las placas base

## Conclusiones

La generación de RAEE supone actualmente uno de los principales problemas de gestión de residuos y se incrementará considerablemente los próximos años, suponiendo ya el 4% del total de residuos de la UE e incrementándose tres veces más rápidamente que otros residuos sólidos. El proyecto ecoRaeE, financiado en el marco del programa europeo Life+ (Life 11 ENV/ES/574), pretende dar soluciones técnicas, económicas y ambientales a esta problemática, demostrando la viabilidad de los procesos de reutilización y reciclaje de estos residuos, e impulsando la aparición de nueva normativa que regule y fomente estos procesos.

La Universidad de Vigo, y en concreto el Grupo de Investigación CIMA, participa en este proyecto mediante la definición y diseño de un proceso optimizado para el reciclaje y reutilización de RAEE, que permita proporcionar un equipo “semi-nuevo”, o sus componentes, al usuario final, reutilizando todos aquellos elementos válidos y reciclando, de forma adecuada, aquellos que no lo sean. Actualmente ya se ha definido completamente el lay-out de las islas prototipo en el que se recogen los flujos de operaciones necesarias para el proceso de reciclaje y reutilización de RAEE, todos los puestos de trabajo y los equipos auxiliares y herramientas necesarios en cada uno, así como los espacios de trabajo y almacenamiento de equipos y componentes.

En las instalaciones del Grupo CIMA, en la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Vigo, se ha comenzado la utilización de la primera de las dos islas prototipo. Estas islas proporcionarán equipos y componentes reutilizados para distintos procesos demostrativos recogidos en el proyecto ecoRaeE, con los que se pretende evaluar no sólo los beneficios medioambientales, en cuanto a huella de carbono, de la reutilización y reciclaje de RAEE, sino también la validez de los equipos reciclados para su uso, tanto como equipos informáticos completos como de componentes para su uso en otros dispositivos electrónicos. En concreto, desde que se ha comenzado a utilizar, se han procesado un total de más de 250 equipos procesados desde mayo (tras la puesta a punto de la isla entre marzo y abril) con una media de en torno a un 20% de equipos para reutilización.

## Agradecimientos

Las tareas aquí descritas han sido desarrolladas por el Centro de Ingeniería Mecánica y Automoción (Grupo CIMA) gracias a la cofinanciación del programa europeo Life+ (LIFE 11 ENV/ES/574), a la que la Universidad de Vigo ha concurrido como solicitante y líder del consorcio. El Grupo CIMA tiene que agradecer su implicación en este proyecto a los demás Grupos y Servicios de esta Universidad que están participando activamente en el desarrollo del mismo, así como a las otras dos empresas que forman el consorcio solicitante, revertia y Energylab.

## Referencias

- [1] Proyecto Life+ecoRae. Sitio Web: <http://www.life-ecoraee.eu/es/proyecto.php>, 2014
- [2] Queiruga D., González Benito J., Lannelongue G. "Evolution of the electronic waste management system in Spain". *Journal of Cleaner Production*. Vol 24. 2012. p.56-65. DOI:10.1016/j.jclepro.2011.11.043
- [3] Wäger P.A., Hischer R., Eugster M. "Environmental impacts of the Swiss collection and recovery systems for Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE): A follow-up". *Science of the Total Environment*. Vol 409. 2011. p.1746–1756.
- [4] Mallawarachchi H. and Karunasena G. "Electronic and electrical waste management in Sri Lanka: Suggestions for national policy enhancements". *Resources, Conservation and Recycling*. Vol 68. 2012. p.44– 53. DOI:10.1016/j.resconrec.2012.08.003
- [5] Oliveira C.R., Bernardes A.M., Gerbase A.E. "Collection and recycling of electronic scrap: A worldwide overview and comparison with the Brazilian situation". *Waste Management*. Vol 32. 2012. p.1592–1610. DOI:10.1016/j.wasman.2012.04.003
- [6] Wath S.B., Atul N. Vaidya, P.S. Dutt, Tapan Chakrabarti. "A roadmap for development of sustainable E-waste management system in India". *Science of the Total Environment*. Vol. 409. 2010. p.19–32. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.09.030
- [7] Wei L., Liu Y. "Present status of e-waste disposal and recycling in China". *Procedia Environmental Sciences*. Vol 16. The 7th International Conference on Waste Management and Technology. 2012. p.506 – 514. DOI:10.1016/j.proenv.2012.10.070
- [8] Laurent A., Bakas I., Clavreul J., Bernstad A., Niero M., Gentil E., Hauschild M.Z., Christensen T.H. "Review of LCA studies of solid waste management systems-Part I: Lessons learned and perspectives". *Waste Management*. Vol.34. 2014. p.573–88.
- [9] Menad N., Guignot S., van Houwelingen J.A. "New characterisation method of electrical and electronic equipment wastes (WEEE)". *Waste Management*. Vol. 33. 2013. p.706–713. DOI:10.1016/j.wasman.2012.04.007
- [10] Achillas Ch., Vlachokostas Ch, Aidonis D., Moussiopoulos N., Iakovou E., Baniass G. "Optimising reverse logistics network to support policy-making in the case of Electrical and Electronic Equipment". *Waste Management*. Vol. 30. 2010. p.2592–2600. DOI:10.1016/j.wasman.2010.06.022
- [11] Manfredi S., Goralczy M. "Life cycle indicators for monitoring the environmental performance of European waste management". *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 81. 2013. p.8– 16. DOI:10.1016/j.resconrec.2013.09.004
- [12] Truttman N., Rechberger H. "Contribution to resource conservation by reuse of electrical and electronic household appliances". *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 48. 2006. p.249–262. DOI:10.1016/j.resconrec.2006.02.003
- [13] Proyecto Life+ecoRae, Documento AcciónB2 (proceso) y AcciónB4 (demostrativos). [http://www.life-ecoraee.eu/es/etapa\\_b.php](http://www.life-ecoraee.eu/es/etapa_b.php), 2014