



LIFE Project Number  
**LIFE13 ENV/ES/000173**

Deliverable Report  
**Public FINAL Report**  
Covering the project activities from **01/06/2014 to 31/05/2017**

Reporting Date  
**28/08/2017**

LIFE+ PROJECT NAME or Acronym  
**Demonstrative pilot plant for the valorisation of non-ferrous metal waste - GREENZO**

Project Data

<b>Project location</b>	Ibi (Alicante) SPAIN	
<b>Project start date:</b>	01/06/2014	
<b>Project end date:</b>	31/05/2017	<b>Extension date:</b>
<b>Total Project duration (in months)</b>	36 months	
<b>Total budget</b>	1.062.170'00 €	
<b>Total eligible budget</b>	1.052.170'00€	
<b>EU contribution:</b>	525.910'00 €	
<b>(%) of total costs</b>	49'51%	
<b>(%) of eligible costs</b>	49'98%	

Beneficiary Data

<b>Name Beneficiary</b>	AIJU
<b>Contact person</b>	Mr. Enrique Añó / Rubén Beneito
<b>Postal address</b>	Avda. De la Industria, 23, ES, 03440, Ibi
<b>Visit address</b>	Avda. De la Industria, 23, ES, 03440, Ibi
<b>Telephone</b>	+34 96 555 44 75
<b>Fax:</b>	+34 96 555 44 90
<b>E-mail</b>	enriqueanyo@aiju.info, rubenbeneito@aiju.info
<b>Project Website</b>	<a href="http://www.lifegreenzo.eu/">http://www.lifegreenzo.eu/</a>



## Contenido

Contenido .....	2
1. Abreviaturas.....	3
2. Resumen ejecutivo.....	4
3. Introducción. ....	10
4. Parte administrativa. ....	11
4.1 <i>Descripción del sistema de gestión del proyecto.</i> .....	11
4.1.1. <i>Avances del proyecto y tareas realizadas.</i> .....	11
4.1.2. <i>Organigrama del equipo del proyecto y estructura de gestión.</i> .....	12
4.2 <i>Evaluación del sistema de gestión del proyecto.</i> .....	13
4.2.1. <i>Proceso de gestión.</i> .....	13
4.2.2. <i>Problemas encontrados.</i> .....	13
5. Parte técnica. ....	14
5.1 <i>Progreso de las acciones.</i> .....	14
5.2 <i>Evaluación de la Implementación del Proyecto.</i> .....	38
5.2.1 <i>Resultados del proyecto visibles y resultados después de un determinado periodo de tiempo.</i> .....	38
5.3 <i>Análisis de los beneficios a largo plazo.</i> .....	39
5.3.1. <i>Beneficios ambientales.</i> .....	39
5.3.2. <i>Beneficios a largo plazo y sostenibilidad.</i> .....	41
5.3.3. <i>Mejores prácticas.</i> .....	42
5.3.4. <i>Valor de innovación y demostración.</i> .....	43

## 1. ABREVIATURAS.

ACV	Análisis de Ciclo de Vida
AIJU	Asociación de investigación de la industria del juguete, conexas y afines
CE	Comisión Europea
COT	Carbono orgánico total
CPU	Unidad de Procesamiento Central
DC	Disposiciones comunes
E/S	Entradas y salidas
EVA	Goma EVA, etilvinilacetato
HAZOP	Estudio de riesgos y operabilidad
HMI	Sistema de interacción hombre-máquina
ICP-AES	Espectrometría de emisión atómica o plasma de acoplamiento inductivo
ITQ	Instituto de Tecnología Química
LOPDAT	Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal.
PC	Ordenador personal
PID	Diagrama de tuberías e instrumentación
PLC	Comunicaciones mediante línea de potencia
TFT	Transistor de películas finas para pantallas de cristal líquido
TPR	Temperatura Programada de Reducción
ZnO	Óxido de zinc

## 2. RESUMEN EJECUTIVO.

El objetivo del presente proyecto es el desarrollo de una planta piloto demostrativa de plasma que obtenga óxido de zinc (ZnO) partiendo de residuos metálicos no férricos (zámak). El óxido de zinc que se obtenga cumplirá con los requisitos técnicos que garanticen su validación en dos sectores industriales (transformación caucho/EVA y catálisis química), aunque los resultados pueden ser extrapolables a otros sectores. Para poder conseguir el objetivo general del proyecto, se persiguen los siguientes objetivos específicos:

- Selección y caracterización de los residuos a valorizar.
- Establecimiento de las especificaciones que debe cumplir el óxido de zinc para ser empleado satisfactoriamente en los demostradores finales.
- Diseño y construcción de la planta piloto demostrativa.
- Optimización del proceso de obtención de óxido de zinc para que cumplan con las especificaciones técnicas establecidas por los sectores de validación involucrados.
- Caracterización física y química del óxido de zinc obtenido.
- Desarrollo de demostradores: artículos de caucho/EVA y aplicación en catalizadores para reformado de etanol.

Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

- Desarrollo de un nuevo proceso de obtención de ZnO a partir de una corriente residual con menor impacto ambiental.
- El ZnO obtenido en este proyecto presenta las siguientes características: área superficial muy superior, hasta 4 veces más, a la del ZnO comercial; presencia de impurezas de Al, Cu y Zn.
- Demostradores en dos sectores industriales (artículos de caucho/EVA y catalizadores para el reformado de etanol).
- Los catalizadores desarrollados muestran excelentes propiedades fisicoquímicas y catalíticas. Actualmente no existen catalizadores comerciales para el reformado de bioetanol, por lo que esto supone una novedad a nivel mundial.
- Los resultados obtenidos de los demostradores de caucho/EVA demuestran que el ZnO reciclado disminuye el tiempo de vulcanización.

### Tareas administrativas

En junio de 2014 se creó el Comité de Dirección, coordinado por AIJU, con el objetivo de llevar a cabo la correcta gestión y funcionamiento del proyecto. Durante el proyecto, no se han realizado modificaciones significativas de los objetivos descritos en la propuesta aprobada. Sin embargo, a lo largo del proyecto surgieron diferentes inconvenientes que el consorcio supo solventar para poder alcanzar los objetivos del proyecto.

Se han realizado 9 reuniones técnicas y de seguimiento con los socios, asistiendo a alguna de ellas el monitor externo designado por la Comisión. Los informes de progreso del proyecto y los entregables pertinentes se han enviado en las fechas previstas.



## Tareas técnicas

*Acción A1. Estado del arte: situación actual de la obtención de óxido de zinc partiendo de residuos industriales.* Se ha realizado el estudio del arte relativo a la obtención de óxido de zinc partiendo de residuos industriales, gestión realizada con estos residuos actualmente, fuentes de suministro de óxido de zinc en la industria, procesos industriales y tecnologías empleadas para la obtención de óxido de zinc, así como la revisión de proyectos internacionales en línea con el presente proyecto.

*Acción B1. Establecimiento de especificaciones.* Se seleccionaron los residuos más apropiados para llevar a cabo la valorización material de los mismos y se definieron los requisitos que debía cumplir el óxido de zinc para las aplicaciones demostradoras.

*Acción B2. Diseño planta piloto pre-industrial.* Se realizó el diseño de la planta piloto. Para ello, se definió la secuencia óptima de funcionamiento de los distintos módulos que conforman la planta piloto, para procesar los residuos seleccionados anteriormente y obtener como subproducto el óxido de zinc con las especificaciones necesarias. Para ello se realizó el diseño de cada uno de los módulos y se definió el sistema de control y automatización más adecuado para el correcto funcionamiento de la planta, todo ello soportado por un estudio de riesgos y operabilidad (HAZOP). En esta acción hubo una desviación que afectaba a la previsión del equipamiento necesario para la realización del prototipo, sin que ello afectara a los objetivos generales del proyecto.

*Acción B3. Desarrollo planta piloto pre-industrial.* Se llevó a cabo el montaje de la planta piloto. Durante la puesta en marcha de la planta piloto surgieron inconvenientes en el módulo de extracción de la varilla. Este hecho supuso que la acción se alargara considerablemente (sin que los objetivos planteados en la memoria inicial se vieran alterados) ya que se realizaron distintas modificaciones en el montaje de la planta piloto para poder solventar este problema. Sin embargo, no se consiguió realizar una extracción en continuo de la varilla y, en consecuencia, la planta piloto ha trabajado en modo semiautomático.

*Acción B4. Valorización material y obtención del ZnO.* En esta tarea se llevó a cabo la caracterización de los residuos seleccionados para ser valorizados y se llegó a la conclusión de que los residuos que tienen una única fracción metálica (virutas, escorias y piezas defectuosas/bebederos) son los que tienen mayor potencial de ser valorizados en la planta piloto. Asimismo, se especificaron los parámetros de operación del proceso de obtención de ZnO. Finalmente se caracterizó el ZnO obtenido y se concluyó que el ZnO obtenido de los residuos de virutas, escorias y piezas defectuosas/bebederos es apto para ser validado en los demostradores. Esta acción se retrasó por razones técnicas, pero los objetivos planteados dentro de la memoria inicial no se han visto alterados.

*Acción B5. Desarrollo de demostradores: artículos de caucho/EVA fabricados con el subproducto obtenido.* En esta acción se hicieron demostradores de caucho y EVA con el ZnO reciclado y se llegó a la conclusión que el ZnO reduce el tiempo de vulcanizado del caucho y la EVA entorno a un 14-15%. Por otra parte, se abren como posibles campos de aplicación del ZnO reciclado de zámak, todos los EVA vulcanizados y espumados de colores medios y en todas las gomas de color negro.



*Acción B6. Desarrollo de demostradores: aplicaciones de catálisis en reformado de etanol.* En esta acción se validó el ZnO como soporte de catalizadores y su aplicación en la producción sostenible de hidrógeno a partir de bioetanol y residuos etanólicos industriales. Los resultados concluyeron que los catalizadores desarrollados presentan propiedades fisicoquímicas y catalíticas excepcionales.

*Acción C1. Seguimiento del impacto del proyecto por medio de indicadores ambientales.* Se definieron los indicadores para medir el impacto del proyecto desde un punto de vista ambiental y se realizó un análisis del ciclo de vida, obteniéndose que los impactos ambientales del proceso desarrollado en el proyecto son inferiores a los que emergen del método industrial tradicional (método francés) de obtención de ZnO.

*Acción C2. Seguimiento del impacto del proyecto por medio de indicadores socio-económicos.* Se definieron los parámetros para medir el impacto del proyecto desde un punto de vista socio-económico y se ha llevado la monitorización de los mismos. La tecnología implementada en el marco del proyecto para la obtención del ZnO puede suponer un ahorro económico considerable en toda la cadena de valor del proceso. Asimismo, el número de empresas afectadas por los resultados del proyecto asciende a 2500-3000 a nivel europeo.

#### Tareas de difusión

Las acciones de difusión se han ido ejecutando siguiendo el plan de trabajo originalmente generado en el Plan de Comunicación. El plan de trabajo sufrió una actualización aproximadamente a la mitad de desarrollo del proyecto en función del progreso del proyecto.

En el desarrollo de estas acciones, tan sólo se ha tenido que reducir al mínimo la campaña de la planta piloto, que se ha visto restringida por las dificultades técnicas referidas.

#### Beneficios a largo plazo

El desarrollo del proyecto ha permitido la puesta en marcha de un nuevo método de obtención de ZnO más sostenible. Este hecho contribuye al uso sostenible de los recursos naturales y los residuos, mejorando además, la prevención, recuperación y reciclado de residuos, en este caso procedentes del sector industrial de la transformación de aleaciones metálicas no férreas (zámak), lo que constituye una de las áreas prioritarias del VII Programa General de Acción Medioambiental hasta 2020. Los resultados del proyecto son extrapolables a cualquier sitio en el que se den circunstancias similares. Asimismo, la tecnología de plasma empleada podría ser extrapolable y validada a otros residuos metálicos.



## EXECUTIVE SUMMARY

The aim of this project is to develop a pre-industrial pilot plant using plasma technology to obtain zinc oxide (ZnO) from metal waste (zámak). The zinc oxide produced shall meet all requirements to ensure its validation in two industrial sectors (the manufacture of rubber and chemical catalysts), although the results could be extended to other industrial sectors. The following specific objectives are aimed to achieve this overall objective:

- Selection and characterization of the wastes.
- Definition of the technical specifications that the zinc oxide may comply to be used in the final demonstrators.
- Design and construction of the demonstrative pilot plant.
- Process optimization in order to meet zinc oxide with the technical specifications set by the validation sectors involved.
- Physical and chemical characterization of the zinc oxide obtained.
- Development of demonstrators: rubber items and catalysts for ethanol reforming.

The results obtained in this project are the following:

- Development of a new process in which ZnO is obtained from a residual current with lower environmental impact.
- The ZnO obtained in this project has the following characteristics: very high surface area, up to 4 times more than commercial ZnO; presence of Al, Cu and Zn impurities.
- Demonstrators in two industrial sectors (rubber articles / EVA and catalysts for the reforming of ethanol).
- Catalysts developed show excellent physicochemical and catalytic properties. Currently, there are no commercial catalysts for the reforming of bioethanol, so this is a worldwide novelty.
- The results obtained from the rubber/EVA demonstrators show a decrease in the vulcanization time when the recycled ZnO is used.

### Administrative Tasks

In June 2014 the Management Committee was created, coordinated by AIJU, with the objective of carrying out the correct management and operation of the project. During the project, no significant changes have been made to the objectives described in the approved proposal. However, throughout the project different problems arose that the consortium was able to solve in order to reach the objectives of the project.

Technical and follow-up meetings have been held with the partners, some of them where attended by the external monitor designated by the Commission. The project progress reports and relevant deliverables have been submitted on schedule.

### Technical Tasks

*Acción A1. Estado del arte: situación actual de la obtención de óxido de zinc partiendo de residuos industriales.* A state of the art was accomplished, the information provided in it



was: production of zinc oxide from industrial wastes, current management of the wastes that will be valorized in this project, supply sources of zinc oxide, review of international projects related to this project.

*Acción B1. Establecimiento de especificaciones.* The most suitable wastes that were used in the project were selected and it was defined the specifications the zinc oxide produced has to meet for the demonstration applications.

*Acción B2. Diseño planta piloto pre-industrial.* The design of the pilot plant was carried out, so the optimum sequence of operation of the different modules was defined, in order to process the selected wastes and to obtain as by-product zinc oxide with the necessary specifications. For this purpose, each module was designed and the most appropriate control and automation system was defined for the correct operation of the plant, all supported by a Hazard and Operability (HAZOP) study. In this action there was a deviation that affected the forecast of the equipment necessary for the realization of the prototype, without affecting the overall objectives of the project.

*Acción B3. Desarrollo planta piloto pre-industrial.* The pilot plant was assembled. During the start-up of the pilot plant, drawbacks in the rod withdrawal module occurred. This fact meant a delay in the action (without affecting the objectives raised in the proposal) since different modifications were made in the assembly of the pilot plant in order to solve this problem. However, it was not possible to carry out a continuous extraction of the rod and, consequently, the pilot plant has worked in semi-automatic mode.

*Acción B4. Valorización material y obtención del ZnO.* The characterization of the selected wastes was carried out and it was concluded that the most suitable wastes to be used in this project were those that have a single metallic fraction. The operation parameters of the process were specified. Finally, the ZnO obtained was characterized and it was concluded that the ZnO obtained in the residues of chips, slag and faulty parts/drinkers are suitable to be validated in the demonstrators. This action was delayed for technical reasons, but the objectives raised in the initial proposal have not been altered.

*Acción B5. Desarrollo de demostradores: artículos de caucho/EVA fabricados con el subproducto obtenido.* Rubber and EVA demonstrators were made with the recycled ZnO and it was concluded that the ZnO reduces their vulcanization time (around 14-15%). On the other hand, the ZnO obtained in this project can be used in all vulcanized and foamed EVA with medium colors and in all black rubber.

*Acción B6. Desarrollo de demostradores: aplicaciones de catálisis en reformado de etanol.* ZnO was validated as catalyst support and its application in the sustainable production of hydrogen from bioethanol and industrial ethanolic residues. The results showed that the catalysts obtained had exceptional physicochemical and catalytic properties.

*Acción C1. Seguimiento del impacto del proyecto por medio de indicadores ambientales.* The environmental indicators were defined and a life cycle analysis was carried out, obtaining that the environmental impacts of the process developed in the project are lower than those that emerge from the French method.

*Acción C2. Seguimiento del impacto del proyecto por medio de indicadores socio-económicos.* The parameters to measure the impact from a socio-economic point of view have been



defined and they were monitored. The technology implemented in the framework of the project for obtaining ZnO can lead to considerable economic savings throughout the entire value chain of the process. Also the number of companies affected by the results of the project amounts to 2500-3000 at European level.

### Dissemination Tasks

Dissemination actions have been executed following the working plan originally generated in the Communication Plan. The working plan suffered an update approximately in the middle of the project development according to its progress.

In the development of these actions, only the size of the pilot plant campaign should be reduced, accordingly to the related technical difficulties.

### Long-term benefits

The development of the project has allowed the implementation of a new method of obtaining ZnO with lower environmental impact. This fact contributes to the sustainable use of natural resources and waste, also improving prevention, recovery and recycling of waste, in this case from the industrial sector which is one of the priority areas of the 7th General Environmental Action Program (EAP) to 2020. The project results can be extrapolated to any site where similar circumstances take place. Additionally, the plasma technology employed could be extrapolated and validated in other metallic waste.



### 3. INTRODUCCIÓN.

Descripción de los antecedentes, problemas y objetivos

Según "The European Foundry Association", en Europa las empresas que consumen zámak, (aleación de Zn, Al, Mg y Cu) y lo procesan, generan más de 1 millón de toneladas anuales de residuos, principalmente escorias de fundición, lodos de vibrado, virutas y piezas defectuosas. En la actualidad estos residuos son, principalmente, depositados en vertederos controlados con el correspondiente impacto ambiental (generación de lixiviados). Estos residuos tienen un contenido variable de zinc metálico que puede ser valorizado en forma de óxido de zinc.

El objetivo principal del proyecto ha sido desarrollar una planta piloto demostrativa de plasma que transforme los residuos metálicos no férricos de zámak en óxido de zinc ya que en la actualidad no existe ningún tipo de procesado que permita la obtención a nivel industrial de óxido de zinc con esta procedencia residual.

Esta propuesta está enfocada a la puesta en marcha de un nuevo proceso encaminado a mejorar/optimizar la gestión y el uso sostenibles de los recursos naturales y los residuos, mejorando, además, la prevención, recuperación y reciclado de residuos, en este caso procedentes del sector industrial lo que constituye, una de las áreas prioritarias del VII Programa General de Acción Medioambiental hasta 2020 que insiste en abandonar prácticas perjudiciales y antieconómicas como los vertederos, para transformar los residuos en recursos.

El principal resultado que se esperaba con la ejecución del proyecto es la producción de óxido de zinc a partir de una fuente residual industrial, validando el producto obtenido en dos sectores industriales: la transformación de caucho/EVA y catálisis química. Los resultados obtenidos son extrapolables a otros sectores industriales.

Desde el punto de vista medioambiental, al valorizar los residuos, se reduce el impacto ambiental derivado de su gestión como residuos peligrosos. Por otra parte, se ha desarrollado una nueva fuente de óxido de zinc más respetuosa con el medio ambiente que el proceso de obtención tradicional.

Resultados a largo plazo esperados

La ejecución del presente proyecto pretende apoyar las políticas europeas relacionadas con el empleo eficiente de residuos como recursos, con el propósito de fomentar una Europa sostenible en la que se fomente la economía circular.

Por otra parte, el proyecto fomenta el uso de productos procedentes de residuos con las mismas propiedades o incluso con propiedades mejoradas en función del uso final que el producto obtenido mediante las técnicas tradicionales. A su vez, generando nuevas posibilidades de negocio en el ámbito del reciclado de residuos, potenciando la innovación de este sector.

Para que la transferencia de los resultados obtenidos en el proyecto al ámbito internacional sea una realidad es necesario continuar con la difusión de los mismos, así como mantener y ampliar la red de stakeholders involucrados en la temática abordada en el proyecto.



## 4. PARTE ADMINISTRATIVA.

### 4.1 Descripción del sistema de gestión del proyecto.

#### 4.1.1. Avances del proyecto y tareas realizadas.

Las actividades desarrolladas hasta el 31 de mayo de 2017 han sido las siguientes:

TAREAS	% DE EJECUCIÓN				
	20	40	60	80	100
A.1. Estado del arte					
Informe del Estado del arte					
B.1. Establecimiento de especificaciones					
Informe con la descripción del residuo a valorizar y con las especificaciones de los demostradores finales.					
B.2. Diseño planta piloto pre-industrial					
Definición de las especificaciones previas.					
Diseño y dimensionado de la planta piloto.					
Caracterización de la planta piloto.					
Diseño del control y automatización de la planta piloto.					
B.3. Desarrollo planta piloto pre-industrial					
Selección y adquisición de los componentes de la planta.					
Montaje de la Planta Piloto.					
B.4. Valorización material y obtención del ZnO					
Caracterización de los residuos seleccionados					
Especificación de los parámetros de operación del proceso y obtención del ZnO					
Caracterización del ZnO obtenido					
B.5. Desarrollo de demostradores: artículos de caucho/EVA					
Pruebas de ZnO para la fabricación sobre los demostradores de EVA y GOMA. Caracterización.					
Evaluación de resultados					
B.6. Desarrollo de demostradores: aplicaciones de catálisis en reformado de etanol					
Síntesis y estudio catalítico de catalizadores de Ni y Co soportados sobre el ZnO reciclado.					
Síntesis y estudio catalítico de catalizadores de Ni y Co soportados que incorporan un segundo metal					
Caracterización y optimización de los catalizadores más activos y selectivos encontrados en la tarea anterior					
Estudio de los mejores materiales catalíticos identificados en la tarea anterior en el reformado de residuos alcohólicos procedentes de industrias alcohólicas					
C.1. Seguimiento del impacto del proyecto por medio de indicadores ambientales.					
Establecimiento de indicadores medioambientales.					
Monitorización del comportamiento ambiental.					
Análisis del Ciclo de Vida.					

TAREAS	% DE EJECUCIÓN												
C.2. Seguimiento del impacto del proyecto por medio de indicadores socio-económicos.													
Establecimiento de indicadores socio-económicos.													
Monitorización del impacto socio-económicos.													
D.1. Difusión e Información.													
Plan de Comunicación.													
Pagina web.													
Publicaciones.													
Paneles Informativos.													
Folletos y dípticos.													
Información y difusión en medios de comunicación pública													
Sesiones formativas, Jornadas técnicas y "Workshops"													
Ferias y congresos internacionales													
Informe Layman.													
D.2. Networking													
Realizar acciones de difusión y sensibilización ambiental del proyecto.													
Búsqueda de proyectos LIFE+ abiertos o finalizados en relación con el tema de la presente propuesta.													
D.3. After LIFE Communication Plan													
Documento "After LIFE Communication Plan"													
E.1. Gestión y funcionamiento general del proyecto.													
Gestión general del proyecto													
Supervisión del correcto desarrollo del proyecto													
E.2. Auditoría													
Auditoría													

#### 4.1.2. Organigrama del equipo del proyecto y estructura de gestión.

Las personas implicadas en el Comité de Dirección para contribuir a la coordinación y gestión del proyecto, liderado por AIJU son las siguientes:

- Rubén Beneito y Enrique Año, de AIJU: Coordinadores del proyecto y responsables técnicos en AIJU.
- Antonio Otero Arias: Responsable técnico en CAUCHOS KAREY, S.A.
- Hazael Seguí: Responsable técnico en WORT EUROP, S.L.
- Antonio Chica: Responsable técnico en ITQ.

Estas personas han estado apoyadas en todo momento por un responsable financiero en cada empresa.

El esquema operativo del consorcio se muestra en la Figura 1.



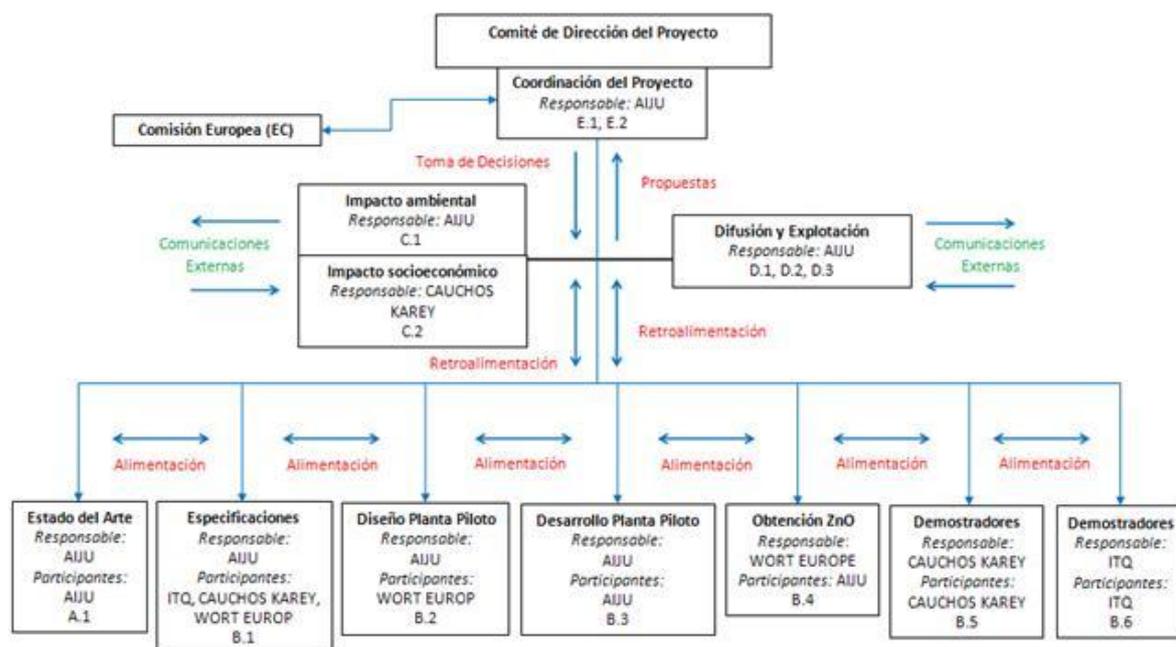


Figura 1. Esquema general para la gestión del proyecto.

## 4.2 Evaluación del sistema de gestión del proyecto.

### 4.2.1. Proceso de gestión.

El Comité de Dirección, durante la duración del proyecto, ha garantizado la correcta ejecución de las tareas técnicas, administrativas, financieras y de difusión que se han llevado a cabo, acciones lideradas por los distintos participantes en función de su papel en el proyecto y sus capacidades. De igual modo, el comité de dirección se ha encargado de la correcta gestión del proyecto. Todo ello de acuerdo con las obligaciones del programa Life+. Este equipo ha estado coordinado por la Asociación de investigación de la industria del juguete, conexas y afines (AIJU).

Desde el 1 de junio de 2014 hasta el 31 de mayo de 2017, se han llevado a cabo nueve reuniones del proyecto, una de inicio y ocho de seguimiento, siendo cuatro de ellas revisadas por el monitor externo designado por la Comisión. Además, en la reunión que tuvo lugar en marzo de 2017 estuvieron presente tanto el Project officer como la Finacial officer de la Comisión.

### 4.2.2. Problemas encontrados.

#### Tareas técnicas

Se han extendido las tareas de las acciones B.3 y B.4 por razones técnicas. A lo largo de la ejecución de las tareas surgieron diferentes problemas que implicaban modificar algunos diseños en elementos de la planta piloto.

## 5. PARTE TÉCNICA.

### 5.1 Progreso de las acciones.

A continuación se describe los principales resultados obtenidos en las tareas desarrolladas en el proyecto.

#### Acción A1. Estado del arte: situación actual de la obtención de óxido de zinc partiendo de residuos industriales.

##### Tareas

1) Informe del estado del arte sobre el proceso de reciclado de residuos industriales mediante arco por plasma.

##### Descripción

En esta acción se llevó a cabo un estudio sobre los aspectos más importantes relacionados con la gestión y el reciclado de residuos industriales procedentes del sector de la transformación metálica y en concreto, de la inyección de artículos de zámak. Asimismo, se estudiaron los aspectos relacionados con la obtención del óxido de zinc. Las principales conclusiones que se extraen de dicho estudio se mencionan a continuación.

Los residuos generados en el proceso industrial de inyección de zámak son:

- Escorias de fundición: se obtienen en el depósito donde se funden los lingotes de zámak. Estas escorias son la parte superficial del material fundido, el cual está oxidado al estar en contacto directo con la atmósfera. Este material es recogido manualmente por los operarios para su posterior gestión como residuo.
- Lodos de vibrado: son consecuencia del vibrado de las piezas de zámak, ya que como resultado de este pulido se obtiene un agua residual cargada con partículas. Los principales componentes presentes en el residuo lodos de vibrado son partículas metálicas procedentes de las partes vibradas de las piezas de zámak que por su naturaleza se encuentran en estado aleado (Zn-Al-Mg-Cu) y partículas de naturaleza plástica o cerámica procedentes del desgaste de las moletas/chips/piedras de vibrado.
- Virutas: proceden del mecanizado de moldes de zámak, así como del acabado de algunas piezas. Estas virutas son recogidas y gestionadas como residuos.
- Piezas defectuosas con inserciones de hierro o aluminio (tornillos): son todas aquellas piezas de zámak inyectadas que tras una comprobación se detecta que contiene impurezas de hierro o aluminio que la convierten en un producto no conforme, no apto para su uso y por tanto debe ser retirado y gestionado como residuo.
- Piezas defectuosas recubiertas con baños (níquel, cromo, estaño...): son todas aquellas piezas de zámak inyectadas que presentan algún desperfecto en su

acabado final que la convierten en un producto no conforme y por tanto también debe ser retirado y gestionado como residuo.

En la actualidad la gestión que se le está dando a los residuos derivados del proceso de transformación de aleaciones metálicas no férreas (zámak) es el siguiente:

- Escorias de fundición: gestión como residuo no peligroso para su posterior valorización material (obtención de lingotes de zámak de 2ª).
- Lodos de vibrado: gestión como residuo peligroso para su posterior depósito en vertederos de seguridad.
- Virutas: gestión como residuo no peligroso para su posterior valorización material (obtención de lingotes de zámak de 2ª).
- Piezas defectuosas con inserciones de hierro o aluminio (tornillos): gestión como residuo no peligroso para su posterior valorización material (obtención de lingotes de zámak de 2ª).
- Piezas defectuosas recubiertas con baños (níquel, cromo, estaño...): gestión como residuo no peligroso para su posterior valorización material (obtención de lingotes de zámak de 2ª).

Los métodos de síntesis del ZnO se pueden dividir en dos grandes grupos; métodos industriales de bajo coste y métodos a escala planta piloto de alto coste. Los principales factores que diferencian los distintos métodos de producción son los precursores de zinc y las temperaturas del proceso, las operaciones unitarias empleadas y, la escala a la que se realiza. Su pureza y su calidad dependen del método que se haya empleado en su producción.

Debemos diferenciar entre métodos de obtención primario y secundario de metales. El metal primario es aquel que se obtiene a partir de los minerales extraídos de las minas. Mientras que el metal secundario es aquel que se obtiene a partir del reciclaje del metal ya usado.

Los principales métodos para la obtención de óxido de zinc tanto a nivel industrial como a pequeña escala son:

#### *Métodos industriales*

La mayor proporción de ZnO se produce por el proceso indirecto (francés). Le sigue el proceso directo (americano) y finalmente siguen los procesos hidrometalúrgicos, que generalmente aprovechan los desechos que contienen zinc.

#### *Métodos a pequeña escala*

Hay un gran número de técnicas disponibles para la producción de ZnO a pequeña escala o a escala laboratorio. Entre ellas destacan:

- Precipitación de  $Zn(OH)_2$  o ZnO a partir de disoluciones acuosas de sales de zinc.
- Extracción con disolvente orgánico y posterior pirólisis del nitrato de zinc.
- Deposición de películas finas.



- Síntesis en fase gas.
- Método sol-gel.

### Conclusiones y comentarios

Con la realización del estado del arte llevado a cabo en esta tarea se ha puesto de manifiesto los residuos que se generan en la industria transformadora de zámak, así como la gestión ambiental que se realiza de los mismos. Por otra parte, se ha actualizado el estado de la técnica de los métodos de obtención de óxido de zinc más importantes.

### Acción B1. Establecimiento de especificaciones.

#### Tareas

- 1) Teniendo en cuenta las conclusiones de A1, se seleccionan los tipos de residuo a valorizar en función del tratamiento actual del residuo, tamaño de partícula del mismo y pre-tratamiento que deba recibir.
- 2) Para las aplicaciones finales se definirán las propiedades mínimas que debe tener el producto obtenido para poder ser empleado en cada sector (industria química e industria del caucho) en el que se pretende validar el mismo. Siendo éstos los demostradores del proyecto.

#### Descripción

En esta acción se realizó la selección de aquellos residuos con mayor potencial de valorización. Los residuos seleccionados que se van a tratar en el proyecto son:

- Escorias de fundición
- Lodos de vibrado
- Virutas
- Piezas defectuosas con inserciones de hierro o aluminio (tornillos)

Asimismo, se definieron los requisitos que debe cumplir el ZnO a obtener en función de las necesidades de las aplicaciones demostradoras.

#### *Soporte de catalizadores de reformado de bioetanol para obtener hidrógeno*

Para que el ZnO sirva como soporte de catalizadores de reformado de bioetanol de alta actividad, selectividad y estabilidad debe incluir total o parcialmente las siguientes propiedades físico-químicas:

##### a) Propiedades Físicas:

- Área específica: es recomendable que el ZnO presente áreas superiores a la presentada por el ZnO comercial (2,5-12 m<sup>2</sup>/g).
- Tamaño de partículas: interesa que el ZnO sea lo más pequeño posible, preferiblemente por debajo de los 100 nm.

##### b) Propiedades químicas:



- Básico o Neutro: los materiales con características básicas o neutras presentan excelentes propiedades como soportes de catalizadores de reformado de bioetanol. De esta forma la presencia de ciertas impurezas del tipo Mg o Si podría ser positiva. Sin embargo, su proporción en el ZnO no debería superar el 2% en peso.
- Composición química: el porcentaje estimado de impurezas no debería superar el 5% en peso. La presencia de ciertos elementos como por ejemplo Ni, Fe, Cu, Sn y Al favorecen la reacción de reformado de bioetanol, por lo que su presencia podría suponer una importante ventaja.

#### *Activador en el vulcanizado del caucho/EVA*

Teniendo en cuenta el uso del óxido de zinc en los sistemas de vulcanización de caucho y de espumación de EVA, las propiedades requeridas se centran en los siguientes aspectos:

##### a) Propiedades físicas:

- Área específica: este parámetro determina el grado de efectividad de ZnO dentro de las mezclas de caucho y/o plásticos. Es recomendable que el área específica sea igual o superior a los valores del ZnO comercial (3 – 7 m<sup>2</sup>/g).
- Tamaño de partícula: Este parámetro es muy importante ya que marca el grado de integración del producto dentro de las mezclas. Siempre interesa que el tamaño de partícula sea lo más bajo posible, preferiblemente por debajo de 45 micras.

##### b) Propiedades químicas:

- Composición química: a mayor pureza de ZnO mejor son los procesos de vulcanización y espumación del caucho y del EVA. Se recomienda una pureza por encima del 99%.

La presencia de ciertas impurezas del tipo Mg o Si, presentes en el zámak podrían no ser significativas. Aunque otros elementos como el Ni, Fe, Cu, Sn y Al, podrían tener un efecto incluso favorecedor en la descomposición del espumante, aunque nunca deberían de ser superiores al 0.01%.

#### Conclusiones y comentarios

En esta acción, por un lado, se decidieron los residuos que se iban a utilizar para obtener óxido de zinc y por otro lado, para cada uno de los demostradores se establecieron los requisitos mínimos que el óxido de zinc obtenido a partir de los residuos debía cumplir.

#### Acción B2. Diseño planta piloto pre-industrial.

##### Tareas

1) Definición de las especificaciones previas necesarias para llevar a cabo el diseño de la planta piloto:



- 2) Diseño y dimensionado de la planta piloto.
- 3) Caracterización de la planta piloto.
- 4) Diseño del control y automatización de la planta piloto.

#### Descripción

Para llevar a cabo el diseño de la planta piloto se realizaron pruebas experimentales con el objetivo de estudiar el pre-tratamiento que se le debía hacer al residuo, así como la tecnología más adecuada para obtener óxido de zinc. Como conclusión final de la experimentación realizada, se determinó que:

- Para poder valorizar con el mismo proceso los diferentes tipos de residuos seleccionados y homogeneizar el material a tratar es necesario fundir dicho material, en lugar de triturarlo como se pensó inicialmente.
- Para sublimar los componentes metálicos de los residuos y obtener el óxido de zinc, el arco voltaico debe ser generado por plasma y el material a tratar no debe ser líquido, por lo que se debe solidificar el material fundido y conformarlo con unas dimensiones adecuadas para su posterior tratamiento por plasma.
- Una vez solidificado el material, éste pasa al módulo de plasma donde se produce la sublimación y posterior oxidación al contacto con el arco voltaico del plasma.

La planta piloto demostrativa deberá procesar 4000 kg de residuos con el objetivo de obtener 1600 kg de óxido de zinc necesarios para los demostradores finales. Para ello se ha estimado que la planta ha de ser capaz de tratar más de 2'5 kg/h de residuos para obtener más de 1 kg/h de ZnO.

La planta piloto se compone de los siguientes módulos, en cada uno de los cuales tendrá lugar un proceso diferente:

- Módulo 1: sistema de fundición.
- Módulo 2: extracción continua de material solidificado.
- Módulo 3: cámara de plasma (sublimación).
- Módulo 4: sistema de filtración y retención de partículas (óxido de zinc).
- Módulo 5: unidad de almacenamiento de producto final (óxido de zinc).

Cuyas descripciones son:

Módulo 1: sistema de fundición. Contiene los siguientes elementos:

- Horno eléctrico: es un sistema de calentamiento mediante resistencias cerámicas y trabaja mediante radiación.
- Crisol: fabricado mediante colada de una aleación de acero de fundición especial.
- Chasis: debe soportar las cargas estáticas y térmicas generadas por el crisol.



- Anillo de sujeción del crisol: debe ser capaz de soportar las temperaturas a las que va a trabajar el crisol y a su vez soportar el peso del mismo.
- Mesa del horno: soporta el horno eléctrico y debe ser capaz de albergar otros elementos como el sistema de tuberías de extracción del material fundido, el sistema de enfriamiento y el sistema de extracción del material fundido en modo continuo.

#### Módulo 2: extracción continuada de material solidificado.

Es un sistema denominado "Continuous Casting Die" que permite extraer cualquier perfil diseñado partiendo de un material líquido. Para ello se transporta el material fundido mediante una tubería calefactada hasta una boquilla enfriada unida con un sistema de arrastre (normalmente de rodillos) para extraer el material con la forma deseada y de modo continuado.

#### Módulo 3: cámara de plasma (sublimación).

Para sublimar el residuo y obtener óxido de zinc se ha seleccionado el sistema de antorcha de plasma transferido. Al sistema se le ha hecho una modificación con la que se mantiene siempre la antorcha de plasma encendida para poder trabajar en un sistema discontinuo sin necesidad de volver a encender la antorcha del plasma. Para ello se ha diseñado una cámara estanca con aislamiento térmico interno montada en una estructura modular con perfiles de aluminio.

#### Módulo 4: filtración y retención de partículas (ZnO).

Consiste en un sistema de filtración para atrapar las partículas de óxido de zinc. Para recoger el producto producido el equipo tiene un sistema de sacudida automático que limpia los filtros y el óxido producido se almacena en un depósito situado en la parte inferior del filtro.

#### Módulo 5: almacenamiento de producto final (ZnO).

Este módulo consiste en un depósito con una capacidad de 55 litros, equivalente a unos 300kg aprox. de ZnO.

#### Sistema de control y automatización.

El diseño del sistema de control y automatización de la planta piloto se ha llevado a cabo teniendo en cuenta el diseño mecánico.

El sistema de control está basado en un PLC modular compuesto por los siguientes elementos:

- CPU (Unidad de Procesamiento Central).
- Fuente de alimentación.
- Módulos de entrada y salida analógicas y digitales.
- Interfaz de comunicaciones de Ethernet.

Para el control del equipo se ha integrado una pantalla TFT industrial que se conecta al PLC a través de una conexión Ethernet y permite modificar parámetros de control,



monitorización de variables y seleccionar modos de operación de la planta. Además, integra un servidor Web que permite operar y monitorizar la planta piloto desde cualquier PC convencional conectado a la misma red local que el sistema de control. El sistema permite monitorizar todas las variables de temperatura, presión, caudal, etc. y generar bases de datos de las mismas para su posterior análisis. Para crear una red local entre la pantalla gráfica, la cabecera de E/S y el PLC se ha utilizado un switch con cuatro puertos Ethernet.

En la Figura 2 se detalla una simulación 3D de la planta piloto diseñada.



Figura 2. Diseño de la planta piloto completa.

### Conclusiones y comentarios

En esta acción se ha llevado a cabo el diseño de los diferentes módulos que componen la planta piloto demostrativa. Desde el punto de vista técnico hubo una desviación que afectaba a la previsión del equipamiento necesario para la realización del prototipo, ya que se modificó por diferentes razones:

- El tamaño de alguno de los residuos seleccionados (escorias de fundición), tenían un tamaño muy grande y un elevado grado de dureza. Lo que dificultaba considerablemente su trituración, así como implicaba un consumo energético excesivo.
- La tecnología de plasma necesita que el material a tratar tenga contacto eléctrico con la masa del equipo. Esto no es posible con el material triturado ya que el aire comprimido que sale del plasma dispersa el residuo mientras que, al fundirlo y enfriarlo después, se obtiene un filamento con el que es fácil trabajar y mantener contacto eléctrico.

### Acción B3. Desarrollo planta piloto pre-industrial.

#### Tareas

- 1) Selección y adquisición de los componentes para llevar a cabo la construcción de la planta piloto.
- 2) Montaje de la Planta Piloto.

## Descripción

En esta tarea se seleccionaron y adquirieron todos los elementos y equipos que componen la planta piloto. A continuación, se listan los componentes adquiridos:

### Módulo 1. Sistema de fundición:

- Horno eléctrico.
- Estructura de chasis y anillo sujeción crisol.
- Crisol de fundición.
- Boquillas.
- Elementos auxiliares de montaje (caudalímetros, manómetros...).
- Cable calefactor horno.
- Cableado y otros elementos eléctricos.
- Termopares.
- Componentes de sujeción del módulo de fundición.
- Tuberías y conexionado de N<sub>2</sub>.
- Fungibles de recambio (válvula de regulación, crisol...) y elementos de seguridad.
- Sistema de cerramiento del crisol.

### Módulo 2. Extracción continuada de material solidificado:

- Boquilla de refrigeración y termopares.
- Mecanismo de arrastre de varilla, motores, drivers, arrastre y automatización válvula.
- Equipo refrigeración.
- Cableado y otros elementos eléctricos.

### Módulo 3. Cámara de plasma (sublimación):

- Equipo plasma con antorcha y cámara.
- Elementos auxiliares de montaje (caudalímetros, manómetros...).
- Cableado y otros elementos eléctricos.
- Termopares.
- Tuberías y conexionado de aire.
- Conexionado cámara plasma.
- Racorería y circuito neumático de aire.

### Módulo 4. Filtración y retención de partículas (ZnO):

- Sistema aspiración.
- Cableado y otros elementos eléctricos.
- Conexionado equipo filtración y retención de partículas.

### Módulo 5. Almacenamiento de producto final (ZnO):

- Depósito inferior sistema aspiración.

Sistema de control y automatización:



- PLC control y TFT interfaz HMI.
- Módulos de entradas y salidas analógicas y digitales.

Por otra parte, en lo que se refiere al montaje de la planta piloto, se procedió a la integración de todos los elementos que componen cada uno de los módulos que forman parte de la planta piloto.

En paralelo al montaje de la planta piloto se estuvo trabajando en el desarrollo del sistema de control de la planta. Para ello se ha diseñado un sistema de control basado en un autómata programable, en concreto un PLC de la serie CJ de OMRON.

Tras el montaje de toda la planta, se lleva a cabo la puesta en marcha de la misma. Para ello, se comprueba el correcto funcionamiento de cada uno de los sistemas de manera independiente.

En la figura 3 se muestra una imagen de la planta piloto finalizada.



Figura 3. Diseño de la planta piloto completa.

### Conclusiones y comentarios

En esta acción se llevó a cabo el montaje de la planta piloto y el desarrollo del sistema de control y monitorización.

Asimismo, se realizaron las pruebas iniciales de los componentes y la puesta en marcha de la planta piloto. Durante estas pruebas se detectaron inconvenientes para extraer la varilla de manera continua. Lo que supuso que la acción se alargara considerablemente.

Se realizaron distintas modificaciones en el montaje de la planta piloto para poder solventar el principal problema que, como se ha comentado anteriormente, era el de

la extracción de la varilla de zámak. Sin embargo, con ninguno de ellos se consiguió realizar una extracción en continuo.

Con el propósito de conseguir los objetivos planteados dentro de la memoria inicial, la planta piloto ha trabajado en modo semiautomático.

Por otra parte, se ha propuesto un nuevo diseño de la planta con el que sería posible conseguir la extracción de la varilla con éxito.

#### Acción B4. Valorización material y obtención del ZnO.

##### Tareas

- 1) Caracterización de los residuos seleccionados para ser valorizados.
- 2) Especificación de los parámetros de operación del proceso y obtención de ZnO.
- 3) Caracterización del ZnO obtenido.

##### Descripción

En esta tarea se ha llevado a cabo la caracterización de los residuos seleccionados para ser valorizados en la planta piloto desarrollada.

Los residuos se han desglosado en dos familias. Por una parte, están los residuos que tienen una única fracción metálica (escorias de fundición, virutas y piezas defectuosas/bebederos) y los que tienen tanto fracción metálica como polimérica (lodos de vibrado).

La primera familia (sólo fracción metálica), no se caracterizó, al observar que estaba constituida en composición por los mismos elementos que la materia prima base (zámak), ya que no sufre ninguna modificación química durante el proceso, ni se le añade ningún componente químico adicional, que resulte de interés.

De la segunda familia (mezcla de fracción metálica y polimérica), debido a la complejidad de las mezclas, se realizó una caracterización del residuo que la representa (lodos de vibrado). La caracterización se ha llevado a cabo con espectroscopía infrarroja, análisis de humedad, termogravimetría y fluorescencia de rayos X.

Por otra parte, se han especificado los parámetros de operación del proceso y obtención del ZnO.

Finalmente se ha llevado a cabo la caracterización del ZnO obtenido de los tres grupos de residuos (escorias de fundición, virutas y piezas defectuosas/bebederos). Para llevar a cabo la caracterización de las muestras obtenidas se han empleado área específica BET, composición química, microcopia electrónica de transmisión, tamaño de partícula y difracción de rayos X. A continuación, se muestran algunos resultados de caracterización del ZnO obtenido con la planta piloto.

- **Área específica BET.**

NOMBRE	MUESTRA	AREA BET (m <sup>2</sup> /g)
MMV185	ZnO (2) directamente	21.5
MMV210	ZnO (2) molino bolas	25.1
MMV211	ZnO (2) manualmente	24.1
MMV149	ZnO comercial (Fluka)	6.6

- **Composición química.**

MUESTRA	% Zn	% Si	% Al	% Cu
MMV185	96.2	0.1	2.4	0.9

**Conclusiones y comentarios:**

Esta acción se retrasó por razones técnicas, pero los objetivos planteados dentro de la memoria inicial no se han visto alterados. Cabe destacar que el proceso de obtención de ZnO debido a los problemas explicados en la acción B3 relacionados con la correcta extracción de la varilla, se ha llevado a cabo de forma semiautomática, de modo que se obtienen lingotes de residuo en la unidad de fundición, que posteriormente se subliman de forma manual en la unidad de plasma, recogiendo de forma automática en el sistema de aspiración.

Tras realizar la caracterización de los diferentes residuos se llegó a la conclusión de que los residuos que tienen una única fracción metálica (virutas, escorias y piezas defectuosas/bebederos) son los que tienen mayor potencial de ser valorizados en la planta piloto, por la eficacia y eficiencia del proceso de sublimación, al tener mayor composición en zinc.

Mediante la caracterización de las muestras de ZnO obtenidas se llegó a la conclusión de que el ZnO obtenido en los residuos de virutas, escorias y piezas defectuosas/bebederos son aptos para ser validados en los demostradores.

**Acción B5. Desarrollo de demostradores: artículos de caucho/EVA fabricados con el subproducto obtenido.**

**Tareas**

- 1) Pruebas del ZnO para la fabricación sobre los demostradores de EVA y GOMA y caracterización de los mismos
- 2) Evaluación de los resultados



## Descripción

Se han realizado pruebas de validación de las muestras de ZnO obtenidas en la acción B4 para su uso como activador en la reticulación y espumación del EVA (acetato de etilen vinilo) y como activador de la reticulación con azufre en las formulaciones de caucho. Los estudios que se han realizado para llevar a cabo la validación son:

1. Estudio de curvas reométricas en la vulcanización de caucho mediante la utilización de ZnO reciclado.
2. Estudio de la influencia del ZnO reciclado en las propiedades físicas de un caucho reticulado.
3. Estudio de la espumación y reticulación en la vulcanización de EVA mediante la utilización de ZnO reciclado.
4. Estudio de la influencia del ZnO reciclado en las propiedades físicas del EVA reticulado y espumado.

El estudio de validación realizado se ha llevado a cabo siguiendo cuatro fases de trabajo, que se detallan a continuación:

- Fase I: Estudio preliminar de la influencia del ZnO zámak en goma/caucho vulcanizado con azufre, y EVA reticulada con peróxido y espumada.
- Fase II: Estudio de ZnO zámak de 10 muestras, con 3 familias de diferente tipo y distintos grados de molturado: escorias, virutas y piezas defectuosas.
- Fase III: Estudio de la influencia de ZnO zámak de las tres familias (escorias, virutas y piezas defectuosas) con molturado fino, comprobando el grado de incorporación en la goma y en el EVA.
- Fase IV: Estudio de posibles campos de aplicación en goma/caucho y EVA espumada.

## Conclusiones y comentarios:

A continuación, se resumen las conclusiones extraídas de los estudios realizados en el uso del ZnO reciclado de zámak como activador en la reticulación y espumación del EVA:

Del estudio reométrico se encuentra, de forma general, que el ZnO reciclado de zámak es más reactivo que el ZnO Sello Rojo (el más empleado en este tipo de industria). Esto influye en una disminución del tiempo de vulcanizado.

Respecto al grado de reticulación, los resultados indican que el comportamiento es similar tanto en el ZnO de reciclado de zámak como en el comercial. Además, los resultados obtenidos de los ensayos de densidad y dureza muestran que el grado de reticulación y espumación no se ve afectado por la utilización de los ZnO de zámak.

En cuanto a los ensayos físicos (abrasión, desgarró, tracción, alargamiento, encogimiento y compresión), los resultados del ZnO de zámak son similares a los que ofrece el ZnO Sello rojo. En cuanto a la influencia del color, a pesar de que el ZnO de zámak influye en la tonalidad del material en crudo, el proceso de espumación actúa como diluyente de la transferencia de color consiguiéndose tonalidades similares en el material vulcanizado con ZnO zámak o con ZnO Sello rojo. Los resultados de envejecimiento indican que el ZnO zámak y el ZnO Sello rojo tienen un comportamiento similar, y de buen resultado, ya que no se producen cambios en el proceso de envejecimiento.



El principal problema observado son las contaminaciones, poros que aparecen en las planchas debidos a la presencia de partículas fundamentalmente de zinc metálico. En función de los resultados obtenidos, se abre como posibles campos de aplicación del ZnO reciclado de zámak en todos los EVA vulcanizados y espumados de colores medios, que puedan ser utilizadas en el sector del pavimento deportivo y pavimento industrial para el sector animal, ya que el comportamiento es correcto para las principales propiedades mecánicas que se exigen en estos campos de aplicación.



Figura 4. Resultado de la comparación del color en EVA vulcanizado y espumado.

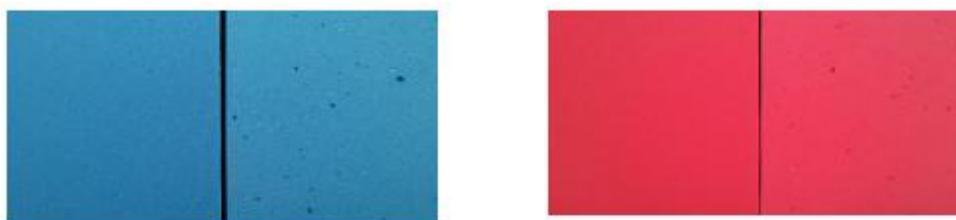


Figura 5. Contaminantes en EVA debido a las impurezas del ZnO reciclado (dcha.) y resultado obtenido con ZnO sello rojo comercial (izda.).

Por lo que respecta a las conclusiones extraídas de los estudios realizados en el uso del ZnO reciclado de zámak como activador de la reticulación con azufre en las formulaciones de caucho:

Del estudio reométrico se encuentra que el ZnO reciclado de zámak tiene un comportamiento similar al ZnO Sello Rojo, obteniéndose tiempos de reticulación inferiores. Además, se encuentra que el grado de reticulación es ligeramente superior. En cuanto al estudio de la influencia de las propiedades físicas, se encuentra que el tono de color obtenido en el proceso de recuperación del ZnO reciclado del zámak es oscuro e influirá en la tonalidad de los cauchos vulcanizados. Por tanto, solo podría usarse en formulaciones de colores oscuros. Las conclusiones sacadas de los ensayos físicos (abrasión, tracción y alargamiento y desgarró) son que las propiedades están dentro de las tolerancias de una fabricación normal. Los resultados del estudio de envejecimiento de la goma indican que tanto el ZnO reciclado de zámak como el ZnO Sello rojo tienen un comportamiento similar, y de buen resultado.

El principal problema observado son las contaminaciones, poros y partículas que aparecen en las planchas debidos a la presencia de partículas fundamentalmente de zinc metálico.

En función de los resultados obtenidos, se abre como posibles campos de aplicación del ZnO reciclado de zámak en todas las gomas de color negro, que puedan ser utilizadas en el sector del calzado y pavimento industrial, ya que el comportamiento es correcto para las principales propiedades mecánicas que se exigen en este campo de aplicación.



Figura 6. Comparación de color transferido por el ZnO reciclado.

#### Acción B6. Desarrollo de demostradores: aplicaciones de catálisis en reformado de etanol.

##### Tareas

- 1) Síntesis y estudio catalítico de catalizadores de Ni y Co soportados sobre ZnO reciclado.
- 2) Síntesis y estudio catalítico de catalizadores de Ni y Co soportados que incorporan un segundo metal.
- 3) Caracterización y optimización de los catalizadores más activos y selectivos encontrados en la tarea 2.
- 4) Estudio de los mejores materiales catalíticos identificados en la tarea 3 en el reformado de residuos alcohólicos procedentes de industrias alcohólicas.

##### Descripción

Se han realizado ensayos de validación del ZnO obtenido en el presente proyecto para su uso como soporte de catalizadores y su aplicación en la producción sostenible de hidrógeno a partir de bioetanol y residuos etanólicos industriales.

El estudio de validación realizado, se ha llevado a cabo siguiendo las cuatro fases de trabajo:

- Fase I. Síntesis y estudio catalítico de catalizadores de Ni y Co soportados sobre ZnO reciclado.
- Fase II. Síntesis y estudio catalítico de catalizadores de Ni y Co soportados que incorporan un segundo metal.

- Fase III. Caracterización y optimización de los catalizadores más activos y selectivos encontrados en la etapa anterior.
- Fase IV. Estudio de los mejores materiales catalíticos identificados en la fase anterior en el reformado de residuos alcohólicos procedentes de industrias alcoholeras.

#### Conclusiones y comentarios:

Las conclusiones más relevantes obtenidas de los ensayos de validación son:

En la fase I se seleccionaron y estudiaron 12 metales (Ni, Co, La, Ga, Fe, Mn, Cu, Pt, Pd, Ag, Rh, Sn) que fueron soportados sobre el ZnO para estudiar su actividad en el reformado de bioetanol. El estudio de reformado de bioetanol se llevó a cabo en un reactor continuo de lecho fijo a presión atmosférica, con una alimentación líquida formada por etanol al 20% en agua (porcentaje en volumen) y una temperatura entre 350 y 600°C.

Los resultados obtenidos se analizaron en base a dos parámetros de interés en la reacción de reformado como son la conversión de etanol y la selectividad a hidrógeno. De todos los materiales estudiados los resultados más interesantes se obtuvieron de los catalizadores: Ni, Co, Pt, Rh y Pd, ya que presentaban las mayores conversiones de etanol y selectividades a hidrógeno. Entre ellos los materiales Ni y Co resultaron los más prometedores al tratarse de metales no nobles, y por tanto más baratos.

Se hicieron diferentes estudios en cuanto al residuo del que provenía el ZnO, el método de incorporación de los diferentes metales, etc. y se determinó que el porcentaje adecuado de Ni y Co que debe ser incorporado es de 15% en peso, el método más adecuado para la incorporación de dichos metales es la impregnación húmeda a volumen de poro, (IHVP) y que el ZnO proveniente de virutas daba mejores resultados.

En la fase II, partiendo de los mejores catalizadores preparados en la fase I, se prepararon nuevas formulaciones que incorporaban un segundo metal (Ga, La, Mn, Cu, Fe, Nb, Pt, Pd, Rh, Au y Ru) mediante el método de impregnación húmeda a volumen de poro con el fin de mejorar, además de la actividad y selectividad, la estabilidad del catalizador. Por tanto, se estudiaron 22 catalizadores, cuyo análisis de resultados se llevó a cabo considerando: conversión de bioetanol, selectividad a hidrógeno, producción de oxigenados y producción de CO.

Por un lado, en las muestras preparadas con Ni, el Ga y Pt son los segundos metales que dan valores de conversión y selectividad a hidrogeno más altos y valores de producción de oxigenados y CO más bajos. Por otro lado, en las muestras preparadas con Co, el Mn y Pd son los segundos metales que dan valores de conversión y selectividad a hidrógeno más altos y valores de producción de oxigenados y CO más bajos. Además de la actividad y selectividad, otro parámetro importante a tener en cuenta es la desactivación del catalizador. Los resultados obtenidos mostraron que la incorporación de La aumentaba la estabilidad del catalizador con el tiempo de reacción. Por tanto, su elección sería recomendable.

Con los resultados obtenidos y puesto que no había un único metal, de los segundos metales estudiados, que llevara a la mejora de los tres parámetros catalíticos estudiados (actividad, selectividad y estabilidad), se decidió llevar a cabo la

preparación de una nueva generación de catalizadores que incorporasen tres metales: Ni o Co, un segundo metal que promueva la actividad y selectividad del catalizador (Ga, Pt, Mn o Pd) y un tercero que promueva su estabilidad (La). Estos estudios concluyeron las formulaciones que presentaban mejores propiedades fueron: 15% Ni, 5% La y 1% Pt; 15% Co 5% Mn y 5% La.

En la fase III se llevó a cabo la caracterización fisicoquímica de las mejores formulaciones obtenidas en la Fase II para conocer sus propiedades fisicoquímicas más relevantes y la relación de las mismas con las propiedades catalíticas exhibidas. Esta conexión entre propiedades fisicoquímicas y catalíticas permitió completar la optimización de los mejores catalizadores.

La composición química de los catalizadores se ha determinado por espectrometría de emisión atómica o plasma de acoplamiento inductivo (ICP-AES), las propiedades texturales se obtuvieron a partir de las isotermas de adsorción de nitrógeno, las fases cristalinas de los catalizadores se determinaron mediante difracción de rayos X, el diámetro promedio fue estimado a partir de los difractogramas y la reducibilidad de las fases presentes en los catalizadores mediante Temperatura Programada de Reducción (TPR). Este estudio puso de manifiesto que la adición de segundos metales como el Pt, Mn y La incrementan la dispersión de las partículas metálicas de Ni y Co. Esta mayor dispersión se traduce en menores tamaños de partícula metálica e interacciones más fuertes con el soporte (ZnO reciclado). El resultado es catalizadores de mayor estabilidad frente a la deposición de coque y sinterización de centro activo. En consecuencia, los catalizadores que mostraron mejores propiedades fisicoquímicas y catalíticas fueron el 15Ni1Pt5La/ZnO y el 15Co5Mn5La/ZnO.

En la fase IV, los mejores catalizadores de la fase III se emplearon para su estudio en el reformado de residuos alcohólicos industriales. Los resultados obtenidos mostraron que el catalizador 15Ni1Pt5La/ZnO presenta una buena resistencia a contaminantes presentes en estas corrientes como el azufre. No obstante, concentraciones por encima del 200 ppm de azufre pueden comprometer el tiempo de vida del catalizador.

### Acción C1. Seguimiento del impacto del proyecto por medio de indicadores ambientales.

#### Tareas

- 1) Establecimiento de indicadores medioambientales.
- 2) Monitorización del comportamiento ambiental de la ejecución del proyecto, así como la evolución de los resultados del mismo.
- 3) Análisis del Ciclo de Vida del proceso de obtención de óxido de zinc por valorización de residuos metálicos en comparación con el método tradicional de obtención de óxido de zinc más común en la industria.

#### Descripción

Se ha definido un listado de indicadores ambientales que se van a utilizar para monitorizar el impacto ambiental del proyecto. Los indicadores en los que se ha trabajado son:



- Porcentaje de residuos valorizables materialmente procedentes del proceso industrial estudiado. Este % refleja el potencial de reciclabilidad de este vector ambiental.
- Cantidad de residuos. Con este indicador se monitoriza el impacto directo que tiene el proyecto, ya que cuantifica a nivel regional, nacional y europeo el volumen de residuos que podrían valorizarse por el método propuesto, y por tanto, muchos de ellos, dejarían de depositarse en vertederos de seguridad.
- Cálculo de la huella de carbono. Con este indicador, se mide el impacto por emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> asociado al proceso de valorización material del residuo metálico propuesto en este proyecto y nos permite realizar benchmarking con respecto a otros procesos similares.
- Consumo energético. Con este indicador se valora la eficiencia energética del proceso, pudiendo obtener un indicador que relacione dicho consumo por unidad productiva (p.ej.: kg de ZnO obtenido, kg de residuo procesado...) y en él se contempla el consumo energético directo (electricidad) y el indirecto asociado a las instalaciones auxiliares (p.ej.: refrigeración, aire comprimido...).
- Emisión de partículas. Se han medido las partículas sólidas, de entre otros parámetros, que se emiten durante el proceso con el objetivo de verificar que se encuentran por debajo de los límites legales establecidos por la reglamentación correspondiente.

En cuanto a la monitorización, se dispone de información relativa a la cantidad de materia prima (zámak) que se está consumiendo y transformando en la actualidad a nivel nacional (España), según las fuentes consultadas, ya que no existe un registro oficial o estadístico donde se pueda averiguar. Esta información es de carácter sensible y de muy difícil obtención, por lo que se ha contactado con diversos proveedores de materias primas para hacer dicha estimación. Además, conociendo en profundidad el proceso de transformación de zámak y consultando con diversas empresas transformadoras, se pueden estimar las cantidades de residuos que pueden generarse como término medio y extrapolarse a nivel nacional y europeo. De este modo se pueden comparar con los datos obtenidos por fuentes estadísticas (p.ej.: Instituto Nacional de Estadística...) o que disponen diversas asociaciones.

#### Análisis de ciclo de vida (ACV)

Se ha realizado el estudio de ACV, para ello se ha llevado a cabo la comparación del método tradicional de obtención de óxido de zinc partiendo de recursos mineros (método indirecto o francés) con respecto al método desarrollado en este proyecto, por el que se obtiene óxido de zinc valorizado partiendo de residuos metálicos no féreos (familia de fracción metálica (virutas, escorias y piezas defectuosas/bebederos)).

Este estudio ha sido sometido a una "Revisión crítica" por una tercera parte y las sugerencias y mejoras propuestas se han incorporado al estudio.

## Conclusiones y comentarios:

Una vez finalizado el proyecto se puede concluir que los resultados obtenidos en cada uno de los indicadores son:

- Porcentaje de residuos valorizables materialmente procedentes del proceso industrial estudiado. Tras la caracterización de las muestras de residuos seleccionadas (escorias de fundición, virutas, piezas defectuosas y lodos de vibrado), se determinó que los residuos con mayor potencial de recuperación y por tanto con mayor eficiencia en el proceso de sublimado para obtener ZnO, son los correspondientes a la familia de fracción metálica (virutas, escorias y piezas defectuosas/bebederos) por su elevada composición en zinc. Se ha calculado que el porcentaje (en peso) de los residuos valorizables procedentes del proceso industrial de la inyección y vibrado de piezas de zámak es del 49%, y que corresponden a la familia de fracción metálica (virutas, escorias y piezas defectuosas/bebederos).
- Cantidad de residuos. Teniendo en cuenta el indicador ambiental anterior y tras consultar con diversas fuentes de información (entrevistas empresas del sector y diagnósticos ambientales previos del sector) se ha estimado que la cantidad de residuos valorizables es de 2.900 Tn/año (Comunidad Valenciana), 9.000 Tn/año (España) y 50.000 Tn/año (UE).
- Cálculo de la huella de carbono. El cálculo de la huella de carbono viene definido en el ACV por el potencial de cambio climático y se mide por emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub>. El resultado del estudio del ACV indica que el potencial del cambio climático es de aproximadamente 2.700 kg CO<sub>2</sub> equivalentes por tonelada de ZnO obtenido, siendo el principal responsable de la huella de carbono en el proyecto el consumo de energía eléctrica.
- Consumo energético. El promedio de consumo energético real de la planta piloto es de 4357 kW·h por tonelada de ZnO obtenido.
- Emisión de partículas. Finalmente, en referencia a la medición de partículas en la emisión atmosférica, se debe tener en cuenta que el límite legal para una instalación industrial ubicada en España es de 150 mg/Nm<sup>3</sup> (Decreto 833/1975, de 6 de febrero, por el que se desarrolla la Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de protección del ambiente atmosférico). Los resultados obtenidos de la medición realizada indican que la cantidad de partículas emitidas es de 1,7 mg/Nm<sup>3</sup> (concentración), 4,78E-04 Kg/h (caudal) en el foco 1 (crisol fundición) y de 1,6 mg/Nm<sup>3</sup> (concentración), 8,30E-04 Kg/h (caudal) en el foco 2 (módulo de aspiración). Valores que están muy por debajo del límite legal.

En lo que respecta al Análisis de Ciclo de Vida (ACV), se ha obtenido el impacto ambiental de la producción de óxido de zinc a partir de residuos de zámak: virutas y residuos de escorias/piezas defectuosas según el desarrollo del proyecto GREENZO.

Los impactos ambientales de la producción del óxido de zinc del proyecto GREENZO se han comparado con los obtenidos por el método francés a partir de zinc primario. Los impactos ambientales en GREENZO son menores en todas las categorías de impacto (potencial de agotamiento de recursos abióticos, potencial de cambio climático potencial de agotamiento de la capa de ozono, potencial de eutrofización, demanda de

energía acumulada, potencial de toxicidad humana) excepto en el potencial de acidificación por los créditos de ácido sulfúrico en el Zn metálico y el potencial de oxidación fotoquímica por las emisiones COT de los residuos de virutas que van impregnadas con aceites/taladrinas.

Los resultados son aún más positivos si se tiene en cuenta que se ha comparado una planta piloto con una instalación industrial. Es de suponer que en una instalación industrial con funcionamiento en continuo se optimizarían sensiblemente los consumos de energía por puesta en funcionamiento de la instalación y por evitación de las pérdidas de calor.

### Acción C2. Seguimiento del impacto del proyecto por medio de indicadores socio-económicos.

#### Tareas

- 1) Establecimiento de indicadores socio-económicos.
- 2) Monitorización del impacto socio-económico.

#### Descripción

Se ha trabajado en la definición de los indicadores para medir el impacto del proyecto desde un punto de vista socio-económico. Estos indicadores son:

- Nº de empresas afectadas por los resultados del proyecto (nº de puestos de trabajo equivalentes).
- Ahorro económico (€) vinculado a la valorización material del residuo para las empresas productoras.
- Impacto del uso de ZnO en la aplicación demostradora “soporte de catalizadores en la producción sostenible de hidrógeno a partir del reformado de residuos etanólicos”.
- Impacto del uso de ZnO en la aplicación demostradora “catalizador en el vulcanizado de artículos de caucho/EVA”.
- Control de las acciones de comunicación, informando sobre los beneficios que reporta la protección del medio ambiente en distintos ámbitos. Para ello se estableció la tabla de indicadores, donde se compara periódicamente el resultado con respecto a la situación inicial del proyecto.

#### Conclusiones y comentarios:

Una vez finalizado el proyecto se puede concluir los resultados obtenidos en cada uno de los indicadores son:

- Nº de empresas afectadas por los resultados del proyecto (nº de puestos de trabajo equivalentes). El número de empresas con procesos industriales de transformación de zámak a las que les afecta directamente el resultado de este proyecto corresponden entre 150-200 empresas en la Comunidad Valenciana, 500-600 empresas a nivel nacional y a nivel europeo la cifra asciende a 2500-3000 empresas.

El número de empresas del sector Caucho/EVA que podrían verse afectadas por los resultados del proyecto asciende a 667 a nivel nacional mientras que a



nivel europeo la cifra ascendería a 4.394, lo que supone más de 350.000 empleos directos.

En cuanto a la fabricación y comercialización de catalizadores aplicados a las industrias del refino, 10 empresas multinacionales aglutinan la mayor parte del negocio. En cuanto a la relación con el empleo, se estima que unos 200.000 empleos estarían relacionados directa o indirectamente con la fabricación y comercialización de catalizadores.

- Ahorro económico (€) vinculado a la valorización material del residuo para las empresas productoras. Según las estimaciones realizadas, teniendo en cuenta unos precios objetivo del ZnO forma automática y semiautomática de 13,55€ y de 27,44€ respectivamente. El ZnO no es competitivo con el precio de compra actual para la aplicación del demostrador de la vulcanización de caucho/EVA (3 €/kg), mientras que para la aplicación como soporte de catálisis para reformado de bioetanol sí sería competitivo (53,5 €/kg). Sin embargo, al realizarse el proceso a escala industrial el precio de ZnO alcanzado podría ser competitivo en ambos casos.

Por tanto, la tecnología implementada en el marco del proyecto para la obtención del ZnO puede suponer un ahorro económico considerable en toda la cadena de valor del proceso, desde las empresas transformadoras de Zámak, el gestor de los residuos, así como el usuario final en el caso de la aplicación de dicho ZnO para soporte de catalizador. Con los costes reales de producción semiautomática, introduciendo el ZnO en mercado de catalizadores, el coste por gestión para empresas transformadoras de zámak podría reducirse en un 50% o incluso más.

- Impacto del uso de ZnO en la aplicación demostradora “soporte de catalizadores en la producción sostenible de hidrógeno a partir del reformado de residuos etanólicos”. Actualmente no existen catalizadores comerciales para el reformado de bioetanol y sus residuos. Es decir, los resultados del proyecto suponen una novedad mundial, respaldada además por los excelentes valores de área BET del ZnO producido en el proyecto, que son 4 veces la del comercial, así como los excelentes resultados de conversión de metanol, siendo esta del 100% y una selectividad a hidrógeno del 70%.

El ZnO se ha empleado como soporte (de menor coste que el comercial) en la preparación de catalizadores trimetálicos para la producción sostenible de hidrógeno empleando residuos etanólicos. El uso de residuos etanólicos como alimento en el reformado y el empleo del ZnO reciclado ha llevado a que los costes de producción de este hidrógeno (24.6 €/ton H<sub>2</sub>) sean muy inferiores a los obtenidos mediante el reformado de gas natural (1550 €/ton H<sub>2</sub>).

- Impacto del uso de ZnO en la aplicación demostradora “catalizador en el vulcanizado de artículos de caucho/EVA”. Del estudio realizado con ZnO proveniente de residuos de zámak se ha encontrado que una de las mayores ventajas es la disminución en el tiempo de vulcanización, esto supondría un aumento de la producción en un 14-15%, lo que supone un aumento de productividad y una mejora en los costes de fabricación.
- Control de las acciones de comunicación, informando sobre los beneficios que reporta la protección del medio ambiente en distintos ámbitos. Se han

realizado 123 emisiones diversas en 15 canales de comunicación que potencialmente han tenido un alcance de 572.455 personas y un impacto de 123.786 actores del público objetivo.

### Acción E1. Gestión y funcionamiento general del proyecto.

#### Tareas

- 1) Gestión general del proyecto. La coordinación y gestión del proyecto se ha llevado a cabo desde el Comité de Dirección constituido a tal efecto al inicio del proyecto.
- 2) Seguimiento en la ejecución del Proyecto con un Protocolo de Supervisión.

#### Descripción

El Comité de Dirección, durante la duración del proyecto, ha garantizado la correcta ejecución de las tareas técnicas, administrativas, financieras y de difusión que se han llevado a cabo, acciones lideradas por los distintos participantes en función de su papel en el proyecto y sus capacidades. De igual modo, el comité de dirección se ha encargado de la correcta gestión del proyecto. Todo ello de acuerdo con las obligaciones del programa Life+. Este equipo ha estado coordinado por la Asociación de investigación de la industria del juguete, conexas y afines (AIJU).

Desde el 1 de junio de 2014 hasta el 31 de mayo de 2017, se han llevado a cabo nueve reuniones del proyecto, una de inicio y ocho de seguimiento, siendo cuatro de ellas revisadas por el monitor externo designado por la Comisión y, además, a la última reunión llevada a cabo en marzo de 2017 asistieron el Project officer y la Financial officer de la Comisión. La calidad del Consorcio, sus amplias capacidades de trabajo y su compromiso en el desarrollo de las actividades ha permitido una gran facilidad en el desarrollo de las actividades de coordinación del proyecto dentro de cada acción.

#### Conclusiones y comentarios:

Esta acción ha finalizado según el calendario previsto, no habiendo ningún retraso ni desviación al respecto.

### Acción D1. Difusión e Información.

#### Tareas:

Plan de Comunicación, página web del proyecto, publicaciones, paneles informativos, folletos y dípticos, información y difusión en medios de comunicación pública, sesiones formativas e informativas, asistencia a ferias del sector, asistencia a congresos internacionales, informe "Layman", video del proyecto (<https://www.youtube.com/watch?v=7YwEZA7AoQg&feature=youtu.be>).

#### Descripción

Se ha desarrollado en el tiempo previsto las acciones que a continuación se exponen:

- Imagen Corporativa: se ha diseñado el Logo, el cual va incluido en toda la difusión que se lleva a cabo, tal como aparece en el encabezado del presente informe.



- Se ha realizado el Plan de comunicación inicial del proyecto, en el que se han establecido los mecanismos adecuados para que los resultados del proyecto alcancen el público-objetivo específico del proyecto. Este documento se actualizó a la mitad de desarrollo del proyecto acorde a los resultados obtenidos.
- Acciones de Difusión establecidas en el plan de comunicación y otras surgidas. Las acciones de promoción y difusión previstas a lo largo del proyecto, se articulan en torno a tres ejes esenciales: medios tradicionales, medio digital y eventos presenciales.

Las acciones de difusión se han planificado de acuerdo a la dedicación prevista, con el fin de distribuir las tareas entre los socios según su saber-hacer. De acuerdo con el planteamiento del Plan de Comunicación, su actualización posterior y las nuevas acciones surgidas a raíz de las anteriores, se han llevado a cabo las siguientes acciones de difusión y transferencia de resultados realizadas en las distintas fases de implementación del plan de trabajo. Estas, su alcance e impacto aproximado se estima a continuación:

LIFE13 ENV/ES/173 GREENZO			
Concepto	Lanzamientos	Impacto: nº de personas que alcanzó	Impacto potencial total
Boletín AIJU	9	10.491	94.419
Comunicados de prensa	6	56.944	196.005
Radiodifusión	1	5.973	11.592
Artículos comerciales	4	34.650	35.104
Página web socios	4	1.527	93.638
Página web GREENZO	33	1.646	6.933
Folleto GREENZO	2	200	700
Newsletter GREENZO	8	1.403	1.963
Ferías	5	1.339	48.350
Congresos/conferencias	8	2.144	11.302
Social Media	30	2.983	39.968
Felicitación navideña	1	193	193
Video final	1	0	0
Difusión TVAcast	1	3.845	31.840
Eventos de networking	10	448	448
<b>Total</b>	<b>123</b>	<b>123.786</b>	<b>572.455</b>

Con estos datos, además, se ha podido estimar la tipología de público objetivo alcanzado, que puede verse gráficamente en la siguiente Figura 7.



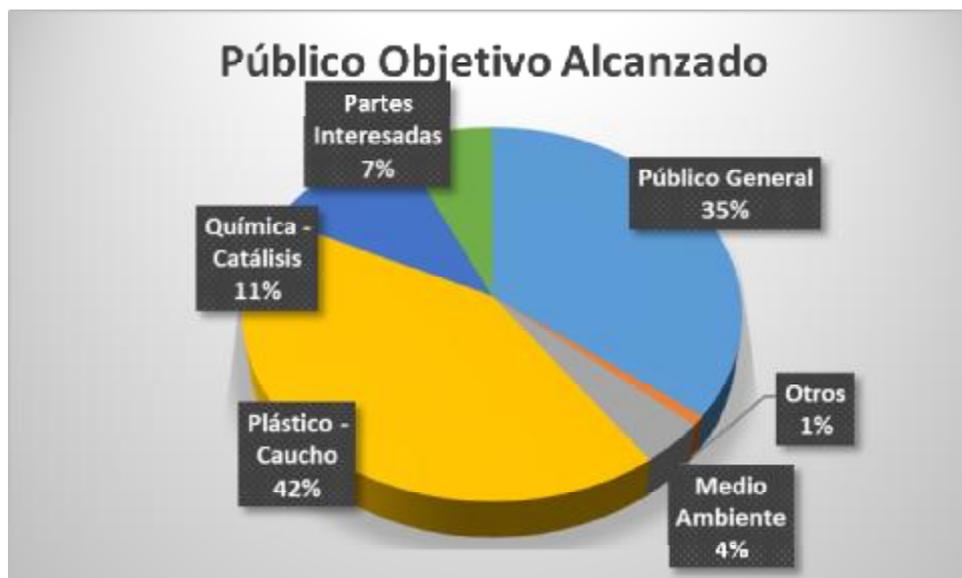


Figura 7. Público objetivo alcanzado por las acciones de difusión del proyecto

Con el fin de monitorizar toda la información referente al proyecto, se puso una alerta Google con el término GREENZO.

Asimismo, se ha realizado el informe Layman.

#### Conclusiones y comentarios:

Las actividades de divulgación han permitido obtener un alto alcance e impacto, de acuerdo al público objetivo establecido en el Plan de Comunicación y considerando la alta especialidad de la temática del proyecto.

#### Acción D2. Networking.

##### Tareas

- 1) Realizar acciones de difusión y sensibilización ambiental del proyecto.
- 2) Búsqueda de proyectos LIFE+ abiertos o finalizados en relación con el tema de la presente propuesta.

##### Descripción

La apuesta del proyecto GREENZO por las acciones de networking se ha iniciado de forma firme. Así, se han realizado las siguientes:

- Generación y actualización de la Contact List del proyecto, segregado por grupos de stakeholders. El listado es un documento vivo que se ha ido complementando y actualizando según las oportunidades surgidas. Se utiliza guardando la LOPDAT.
  - Formuladores de políticas y estándares.
  - Organizaciones medioambientales.
  - Plataforma y clústeres. Centros tecnológicos.
  - Asociaciones y federaciones.

- Industria del zámak.
- Industria del ZnO.
- Organizaciones de consumidores.
- Medios de comunicación relacionados.
- Resultados de acciones de networking.
- Contactos del Life13. Que tan sólo se volverán a contactar para acciones específicas.
- Contactos específicos del Life11.
- Suscripciones al boletín GREENZO.
- Contactos específicos con otros proyectos LIFE detectados.
- Listado de Miembros del Consorcio Europeo del Zinc.
- Listado de Miembros de la Asociación Europea de catálisis.

Estos contactos han recibido de primera mano todas las comunicaciones, Newsletters, etc. surgidas a lo largo del desarrollo del proyecto.

- Se contactó con todos los proyectos aprobados LIFE13 a nivel europeo, presentando el proyecto GREENZO y conciliando los puntos de interés común. A raíz de esta acción se han obtenido 5 contactos nuevos con temáticas relacionadas.
- Se contactó con todos los proyectos aprobados LIFE11 a nivel europeo, presentando el proyecto GREENZO y conciliando los puntos de interés común. A raíz de esta acción se han obtenido 5 contactos nuevos con temáticas relacionadas.
- Felicitación Navideña en castellano e inglés. Distribución entre la Contact List actualizada a la fecha de emisión.
- Acciones de transferencia:

Networking		
Destaca	60	60
Eco-Fira	33	33
Infoday REDIT - jul14	50	50
Equiplast - Cooperation & Innovation Lab	47	47
Infoday Life13 CV	20	20
Workshop AIJU	27	27
KO Life13	80	80
Conama 2016	11	11
Infoday Valencia 2015	90	90
GREENZO's final event	30	30
<b>Total</b>	<b>448</b>	<b>448</b>

- Acciones de networking:
  - § Visitas de networking:
  - § NORKEM.
  - § GUZMAN GLOBAL.
  - § Air Liquide.



## Conclusiones y comentarios

Las acciones de networking han sido muy importantes desde el inicio del proyecto y su progresión muy positiva ha resultado muy satisfactoria. Tres empresas de renombre realizaron la visita a AIJU para visitar la planta piloto, compartir buenas prácticas y analizar posibilidades de colaboración futuras.

### Acción D3. After LIFE Communication Plan.

#### Tareas

##### 1) Elaboración del documento "After LIFE Communication Plan"

Se trata de un documento que resalta los resultados del proyecto con respecto a los objetivos establecidos y las capacidades de transferencia en el momento actual y el modo en que la implementación en la industria de estos resultados podría beneficiar desde la perspectiva medioambiental y pueden contribuir a las políticas y legislación europea.

Desde esta base de partida y el impacto que las acciones de difusión han tenido a lo largo del desarrollo del proyecto, establece y planifica la estrategia de difusión y transferencia en los dos próximos años para su implementación industrial.

Asimismo, ofrece datos sobre cómo el programa LIFE ha contribuido a la consecución de estos resultados.

#### Conclusiones y comentarios:

A fecha de cierre de este informe 31/05/2017, la acción D3, se ha ejecutado y planificado debidamente. A partir de esta fecha se puede iniciar la ejecución de las acciones previstas.

### *5.2 Evaluación de la Implementación del Proyecto.*

Como ya se ha comentado anteriormente, la estrategia empleada para la implementación y desarrollo del proyecto ha sido mediante el empleo del cronograma del mismo. Esto ha permitido la planificación de las diferentes tareas del proyecto con todos los socios que lo componen. El control de las actividades mediante el cronograma permite tener una visión clara de la situación real en cada momento y, en caso de ser necesario, permite la rápida implantación de un plan de contingencias.

#### *5.2.1 Resultados del proyecto visibles y resultados después de un determinado periodo de tiempo.*

Una vez concluido el proyecto, cabe destacar los siguientes resultados:

- Se ha desarrollado una planta piloto para la valorización de residuos metálicos no férreos.



- Los residuos con los que se ha decidido trabajar son los correspondientes a la familia de fracción metálica (virutas, escorias y piezas defectuosas/bebederos) por su elevada composición en zinc.
- El ZnO obtenido mediante sublimación por plasma de residuos metálicos no férricos presentan las siguientes características: área superficial muy superior ( $28 \text{ m}^2/\text{g}$ ), hasta 4 veces más, a la del ZnO comercial; presencia de impurezas de Al, Cu y Zn.
- Se ha validado el ZnO en artículos de caucho y, en función de los resultados obtenidos, se abre como posibles campos de aplicación del ZnO reciclado de zámak en todas las gomas de color negro, que puedan ser utilizadas en el sector del calzado y pavimento industrial, ya que el comportamiento es correcto para las principales propiedades mecánicas que se exigen en este campo de aplicación.
- Se ha validado el ZnO en artículos de EVA y, en función de los resultados obtenidos, se abre como posibles campos de aplicación del ZnO reciclado de zámak en todos los EVA vulcanizados y espumados de colores medios, que puedan ser utilizadas en el sector del pavimento deportivo y pavimento industrial para el sector animal, ya que el comportamiento es correcto para las principales propiedades mecánicas que se exigen en estos campos de aplicación.
- Se ha validado el ZnO como catalizador para el reformado de residuos alcohólicos industriales. Los resultados muestran que los catalizadores  $15\text{Ni}1\text{Pt}5\text{La}/\text{ZnO}$  y  $15\text{Co}5\text{Mn}5\text{La}/\text{ZnO}$  presentan excelentes propiedades fisicoquímicas y catalíticas para este proceso.
- El Análisis de Ciclo de Vida pone de manifiesto que los impactos ambientales del proceso de obtención de ZnO llevado a cabo en el presente proyecto son menores en todas las categorías de impacto.

### 5.3 Análisis de los beneficios a largo plazo.

#### 5.3.1. Beneficios ambientales.

Los beneficios ambientales derivados del desarrollo de esta propuesta abordan varios vectores ambientales:

- *Residuos.* El objetivo perseguido con esta actuación ha sido la de desarrollar una planta piloto que permita valorizar corrientes residuales que se generan en el proceso industrial de la transformación metálica no férrea, como es la inyección de zámak. Esto permite, por una parte, que se disminuya la cantidad de estos residuos que actualmente se depositan en vertederos de seguridad y, por tanto, se desperdician los recursos en ellos contenidos. Y por otra parte, se valida una nueva tecnología que permite otro tipo de valorización para esta tipología de residuos.
- *Uso eficiente de recursos.* La tecnología desarrollada permite la valorización de residuos y, por tanto, un nuevo método de obtención de óxido de zinc. En este proyecto, por tanto, se ha definido una nueva fuente de abastecimiento de



materias primas (ZnO) procedentes de fuentes renovables (residuos), por lo que se disminuye la dependencia en el suministro de estas materias primas respecto a terceros países (p.ej.: asiáticos...), que monopolizan estos suministros y por tanto su precio. Según los cálculos realizados se pueden obtener más de 100 mil toneladas anuales de óxido de zinc con todos los residuos con potencial de valorizarse en toda Europa.

- *Impacto medioambiental.* Durante el desarrollo del proyecto se ha llevado a cabo un estudio de análisis de ciclo de vida en el que se ha comparado el proceso desarrollado frente al método francés de producción de ZnO a partir de zinc primario. Los resultados concluyen que prácticamente todos los impactos ambientales se ven reducidos de manera notable (potencial de agotamiento de recursos abióticos, potencial de cambio climático, potencial de agotamiento de la capa de ozono., potencial de eutrofización, demanda de energía acumulada y toxicidad humana-cáncer). En concreto la huella de carbono medida con el impacto de potencial del cambio climático supone una reducción de entre el 13% y el 54%, en consecuencia, se alinea con todas las políticas de la UE respecto a cambio climático.
- *Eficiencia energética.* El proceso desarrollado es más eficiente que el método francés. Esta reducción es del 14% para los residuos de escorias y piezas defectuosas y de 25% para las virutas.

Las acciones del presente proyecto están encaminadas a conseguir diferentes logros en problemáticas ambientales específicas como:

- Directiva Marco de Residuos 2008/98/CE: mediante la valorización de residuos industriales se sigue en la línea de lo marcado por esta Directiva que contribuye a ir transformando la Unión en una “sociedad del reciclado”, que trata de evitar la generación de residuos y que utiliza los residuos como un recurso.
- Directiva Europea de Uso Eficiente de Recursos 2020: al generarse una nueva fuente de suministro de óxido de zinc procedente de fuentes residuales, estamos alineados con esta Directiva. La estrategia sobre la eficiencia de recursos es una de las siete iniciativas emblemáticas de la Unión para 2020 de cara a conseguir un crecimiento inteligente, sostenible e integrador para Europa.
- Comunicación de la Comisión de 21 de diciembre de 2005: «Un paso adelante en el consumo sostenible de recursos - Estrategia temática sobre prevención y reciclado de residuos» [COM(2005) 666 21] de diciembre de 2005 titulada: “Un paso adelante en el consumo sostenible de los recursos- Estrategia temática sobre prevención y reciclado de residuos (COM(2005)). El objetivo de la estrategia es reducir los impactos ambientales negativos que generan los residuos en todo su ciclo de vida, desde su producción hasta su eliminación, pasando por su reciclado. Este enfoque permite que cada residuo se considere no sólo como una fuente de contaminación que conviene reducir, sino también como un recurso que podría explotarse.



- Por último, con este proyecto se sigue la estela de lo publicado recientemente por la Comisión, en lo referente a su paquete de medidas relativas a la economía circular. En dicha comunicación "Hacia una economía circular: un programa de residuo cero para Europa", junto con una propuesta de Directiva se establecen objetivos más ambiciosos de preparación para la reutilización y reciclado en 2030 y la eliminación del vertido de residuos reciclables, entre otras medidas. Con este movimiento se puede considerar que se trata de convertir en un recuerdo del pasado el concepto de residuo, ya que dichas medidas van encaminadas a un cambio de paradigma por el que se abandona la clásica economía lineal por la actual economía circular.

### 5.3.2. Beneficios a largo plazo y sostenibilidad.

#### a) Largo Plazo / beneficios ambientales cualitativos

Los resultados obtenidos en el análisis de vida realizado sobre el proceso de obtención de ZnO planteado ha demostrado que el proceso mediante el cual se lleva a cabo la valorización material de residuos metálicos no féreos empleando la tecnología de plasma es medioambientalmente más respetuoso con respecto al método francés a partir de zinc primario.

Los resultados son aún más positivos si se tiene en cuenta que se ha comparado una planta piloto con una instalación industrial.

Además, el presente proyecto contribuye a mejorar, a largo plazo, el consumo de recursos, optimizando tanto la generación como la gestión de los residuos generados por las empresas transformadoras de metales no féreos. De esta forma, se crea una nueva fuente de abastecimiento de recursos procedente de residuos.

Esta nueva concepción de emplear los residuos industriales generados en las empresas transformadoras de metales no féreos como materia prima para la obtención de óxido, podrá ser extrapolable a otras áreas geográficas que tengan una problemática similar a la planteada en el presente proyecto. Además, esta actuación tiene un marcado potencial de replicabilidad/reproducibilidad/transferibilidad para con otros sectores en los que se pueda validar el uso del ZnO obtenido (cerámico, cosmético, depuración aguas residuales...), así como con otros residuos metálicos no féreos, como los residuos procedentes de la inyección de piezas de aluminio.

#### b) Largo Plazo / beneficios económicos cualitativos

Los resultados obtenidos en los demostradores concluyen que el ZnO obtenido mediante la valorización de residuos abre posibles vías de negocio en los siguientes campos de aplicación, siendo extrapolables a otros sectores:

- En todas las gomas de color negro, que puedan ser utilizadas en el sector del calzado y pavimento industrial.
- En todos los EVA vulcanizados y espumados de colores medios, que puedan ser utilizadas en el sector del pavimento deportivo y pavimento industrial para el sector animal.



- Como sustrato de catalizadores para el reformado de residuos alcohólicos industriales.

Desde un punto de vista económico los principales beneficios que puede generar el proyecto son:

- Nuevas unidades de negocio en el sector de la gestión de residuos. El número de empresas con procesos industriales de transformación de zámak a las que les afecta directamente el resultado de este proyecto corresponden entre 150-200 empresas en la Comunidad Valenciana, 500-600 empresas a nivel nacional y a nivel europeo la cifra asciende a 2.500-3.000 empresas.

Con los costes reales de producción semiautomática (27,44€), introduciendo el ZnO en mercado de catalizadores, el coste por gestión para empresas transformadoras de zámak podría reducirse en un 50% o incluso más.

- Potenciación de la innovación en la industria de la transformación de metales no férreos, contribuyendo a su competitividad industrial.
- Reducción de costes de materia prima y producto acabado (ZnO), teniendo en cuenta unos precios objetivo del ZnO forma automática y semiautomática de 13,55€ y de 27,44€ respectivamente. El ZnO no es competitivo con el precio de compra actual para la aplicación del demostrador de la vulcanización de caucho/EVA (3 €/kg), mientras que para la aplicación como soporte de catalisis para reformado de bioetanol sí sería competitivo (53,5 €/kg). Sin embargo, al realizarse el proceso a escala industrial el precio de ZnO alcanzado podría ser competitivo en ambos casos.

#### c) Largo Plazo / beneficios sociales cualitativos

Se espera que los resultados obtenidos en este proyecto impliquen una reactivación del empleo en las zonas donde se generan este tipo de residuos, ya que se podrían crear plantas para la valorización de los mismos promoviendo de manera directa e indirecta la creación de empleo.

Además, se espera aumentar la conciencia social de emplear materias primas y productos provenientes de la valorización de residuos.

Por otra parte, se ha contribuido a fortalecer las bases científicas y tecnológicas de la comunidad industrial europea, fomentando su competitividad ya que se han generado nuevas bases científicas para la valorización de residuos procedentes de la transformación de metales no férreos, así como la mejora de la huella de carbono en el proceso de obtención de ZnO.

#### 5.3.3. Mejores prácticas.

Por lo que respecta a las mejores prácticas empleadas para llevar a cabo el proyecto, se podrían destacar las siguientes:

- Mitigación y prevención de los riesgos: cuando ha surgido algún inconveniente se ha realizado una reunión extraordinaria con el equipo de trabajo implicado con el objetivo



de solventar el problema surgido. Por otra parte, si se ha previsto que el inconveniente podría darse de nuevo, se han tomado las medidas oportunas para que no sucediera.

- Se ha llevado a cabo un programa de supervisión y revisión del cronograma mensual para llevar el control del estado del proyecto.
- Se han realizado reuniones periódicas con los miembros del consorcio para hacer seguimiento de la evolución del proyecto.
- Cada uno de los socios ha realizado reuniones internas para conocer el estado de los trabajos realizados por los miembros del equipo que participan en el proyecto.
- Los miembros del consorcio, coordinados por AIJU, han planificado y realizado la correcta difusión del avance del proyecto en diferentes medios.
- Cuando ha surgido algún retraso durante la ejecución del proyecto se ha hecho una previsión de los recursos con el fin de conseguir los objetivos planteados en la memoria de solicitud del proyecto. Con lo que se han aplicado adecuadamente los diferentes planes de contingencia.

#### 5.3.4. Valor de innovación y demostración.

Los aspectos innovadores más destacados de la propuesta son:

- A día de hoy no existen ningún desarrollo industrial ni pre-industrial que permite la obtención de óxido de zinc procedente de fuentes residuales de los procesos de transformación de metales no féreos.
- Al utilizar el ZnO obtenido en el presente proyecto como catalizador, sería la primera vez que se describe un proceso de producción de hidrógeno donde tanto la materia prima (bioetanol y residuos etanólicos) como el catalizador utilizado (ZnO) son de naturaleza renovable. Por tanto, la producción industrial de *biohidrógeno* utilizando este óxido de zinc supondría una clara innovación con importantes repercusiones, no solo sobre el medio ambiente, sino también sobre las industrias dedicadas a la producción de hidrógeno mediante el reformado catalítico.
- Se abren posibles vías de negocio en el sector del caucho y del EVA en el que se emplea ZnO obtenido a partir de residuos para la vulcanización y activación de los mismos.
- Amplia afección a otros sectores usuarios de esta materia prima (p.ej.: cosmética, optoelectrónica...).
- Permite utilizar herramientas de marketing ambiental (ecoetiquetado) que permitirá diferenciar los productos fabricados con el óxido de zinc valorizado con respecto a otros que no lo hagan.