

# TECNOLOGÍAS DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA APLICACIONES DE RECICLADO

Bereciartua Pérez, M<sup>a</sup> Aranzazu; Castillo Lizundia, Angel; Picón Ruiz, Artzai.  
Fundación ROBOTIKER (TECNALIA)

## INTRODUCCIÓN

El aumento constante del empleo de aparatos eléctricos y electrónicos para cada vez más numerosas aplicaciones, ha llevado a una situación en la que es necesario encontrar soluciones, tanto para evitar que las materias primas usadas vayan disminuyendo, como para preservar el medio ambiente ante la eliminación de desechos, que en muchos de los casos, son procesos muy contaminantes.

Para conseguir materia prima con la máxima pureza se emplean métodos físicos y químicos. En el caso de cables eléctricos y chatarra electrónica, hasta ahora se han empleado muchas técnicas que se fundamentan en los diferentes comportamientos físicos de los materiales. Algunas de estas técnicas son fuerzas magnéticas inducidas por corrientes eléctricas, métodos mecánicos, separación manual... Si la mezcla a separar – reciclar contiene materiales que puedan ser separados por alguna de estas características, el problema está solucionado. Pero, ¿qué ocurre cuando las características del material o de la mezcla hacen inviables dichos métodos? Pueden ser empleados otros procesos químicos en las refinerías, pero éstos generan gran cantidad de contaminación que debe ser evitada.

Por otra parte, la búsqueda de métodos de reciclado eficaces supone una importante línea estratégica de las empresas de este sector, ya que la obtención de materiales de mayor pureza procedentes de las mezclas iniciales, implica su venta a mayor precio, y consecuentemente, los beneficios son mayores. Asimismo, el tratamiento en la refinería será menor o incluso inexistente.

Recogiendo las inquietudes de las empresas del sector, y aprovechando la experiencia y conocimientos del equipo de visión artificial de ROBOTIKER (TECNALIA), se inició hace ya unos años la investigación en el empleo de tecnologías de visión artificial para la separación de diferentes metales y/o plásticos. Los orígenes del proyecto se remontan a 1999, gracias al programa de investigación INTEK del Gobierno Vasco.

¿Qué es la visión artificial? Es una nueva tecnológica que consiste en emplear cámaras, desarrollos electrónicos y elementos de software para adquirir imágenes y obtener la información deseada de ellas a partir del procesamiento de las mismas. Para ello se diseñan algoritmos, que implementados en un lenguaje adecuado de programación, permiten la automatización del proceso. Este es comparable al que realiza el ser humano, viendo, llevando la información hasta el cerebro y procesándola allí. La ventaja es que la máquina puede realizar este proceso más rápidamente y de forma repetitiva. Si mi ojo puede distinguir entre cobre y plomo, también lo conseguiré combinando la tecnología existente.

El objetivo del proyecto que expongo a continuación, es desarrollar una máquina flexible y automática para eliminar pequeñas partículas (metálicas y no metálicas de tamaño acotado), de una mezcla de troceado de cables, compuesta principalmente por cobre, aunque en sus múltiples variaciones puede llevar plásticos, partículas de plomo o aluminio. Se pretende obtener cobre de máxima pureza (99.9%).

Las principales innovaciones son un nuevo concepto de máquina para separación de materiales de una mezcla, nuevo sistema dedicado de color, su cámara y su software desarrollado específicamente para propósitos de separación. Se ha diseñado también un nuevo módulo de

iluminación así como de alimentación y extracción. A partir de este primer estadio, las posibilidades de aplicación para separación de otras mezclas de elementos son infinitas.

### SOLUCIÓN PROPUESTA

A la hora de diseñar un sistema de visión artificial, hay que tener en cuenta cuáles son las características del problema que se desea solucionar. En este tipo de aplicaciones de inspección, el elemento es supervisado en tiempo real, mientras se desplaza sobre una cinta transportadora a una velocidad determinada. La cámara adquiere las imágenes, que serán transmitidas al ordenador de control. Allí, son procesadas y las partículas que no son cobre (plomo, plásticos, aluminio) son localizadas, almacenándose su posición. Hasta aquí la identificación, pero ahora es necesario separar los elementos, con lo que también hay que pensar en un sistema de extracción adecuado a las características de las partículas a eliminar.

Otro aspecto a tener en cuenta es la capacidad de asegurar una cierta producción, acorde a las existentes en las plantas de reciclado, con lo que hay que pensar en las dimensiones adecuadas del sistema. La máquina tiene que ser lo suficientemente autónoma para permitir una adaptación fácil y segura frente a posibles fallos de funcionamiento. La máquina registrará sus errores y reaccionará convenientemente a ellos.

La solución propuesta queda perfectamente descrita en la siguiente imagen:

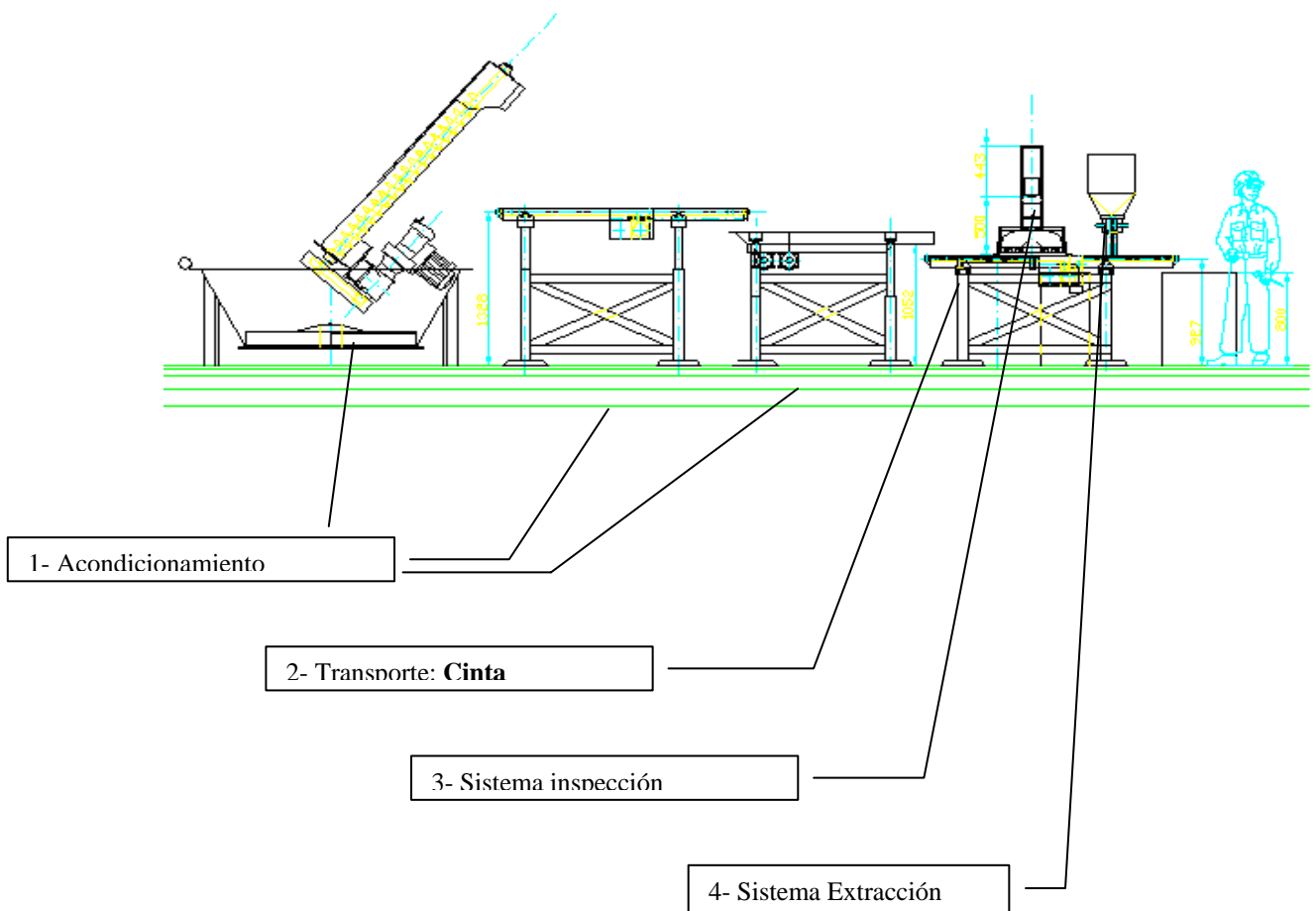


Fig. 1. Esquema de maquina

Se describe a continuación cada uno de los módulos que componen el sistema:

- **Acondicionamiento**

Es necesario para que la producción pueda ser inspeccionada de manera automática, sin atascos y sin que suponga una labor continua de alimentación por parte del operario. Por ello, el módulo de acondicionamiento estará formado por un conjunto de sinfines y elementos mecánicos adecuados para la elevación del cobre desde los grandes sacos que lo transportan hasta el silo de almacenaje. Desde el silo de almacenaje sale el material de manera dosificada, proporcionando un determinado caudal más o menos constante al sistema.

Otro objetivo del módulo de acondicionamiento es impedir que partículas demasiado grandes lleguen al sistema, ya que pueden obstruir los elementos de extracción. Se intercalan cribas en el recorrido.

El último elemento del conjunto de acondicionamiento es un vibrador, que realiza una distribución uniforme de la capa de material sobre la cinta transportadora. La mezcla de cobre ha de ser introducida en la máquina de modo controlado garantizando una fina capa de un espesor no superior a 3 mm. Con ello se pretende que la disposición de las partículas sea adecuada para la inspección y evitar que los filamentos de cobre se entrelacen entre ellos, así como que se solapen entre sí las partículas, dejando algunas impurezas tapadas por cobre u otros elementos.

- **Transporte**

Las partículas, uniformemente distribuidas, son transportadas a la línea de visión del sistema de inspección. La posición de las partículas en la cinta debe ser garantizada con mucha precisión tanto en la dirección del movimiento, como en los desplazamientos laterales que puedan producirse, ya que pequeños desplazamientos de las mismas desde el sistema de inspección al de extracción, ocasiona que no se extraiga la partícula seleccionada. El movimiento es controlado por un encoder de posición, seleccionado específicamente para conseguir la resolución y precisión requerida. También es importante que las partículas no se desplacen transversalmente al movimiento, y para ello la cinta transportadora se debe ajustar al perfil y no debe deslizar lateralmente en su movimiento.

El sistema de transporte conducirá el material desde la alimentación al módulo de extracción pasando por debajo del sistema de inspección, mediante una cinta transportadora convenientemente preparada. El color de ésta ha sido convenientemente elegido de un tono semejante al del cobre. Al ser el cobre el componente mayoritario, éste permanecerá en la cinta hasta el final, extrayéndose las otras partículas de la mezcla. Los trozos de cobre son detectados como fondo, apareciendo indistinguibles de la cinta y son las impurezas las que son detectadas.

- **Módulo de extracción**

El sistema de extracción es el elemento de la máquina que más se tardó en diseñar y es actualmente el cuello de botella del sistema. Está constituido por 40 válvulas de vacío distribuidas a lo largo de los 400 mm de espacio útil de la cinta transportadora que son inspeccionados. De esta manera se puede extraer cualquier partícula ubicada en cualquiera de los 400 mm. El funcionamiento de las electro válvulas se basa en que la caída de presión provoca que la partícula sea aspirada.

Por tanto, las partículas, una vez han pasado por debajo del sistema de inspección y han sido procesadas como impurezas, pasan por debajo del sistema de extracción. Al haber sido identificada una impureza, su posición es calculada en los dos ejes, tanto en el sentido del

movimiento ( necesario para saber en qué momento extraerla), como en el transversal al movimiento ( necesario para saber con qué válvula extraerla. La distancia ente la línea de visión y el punto de extracción debe ser establecida exactamente para poder aplicarlo al cálculo adecuado del pulso de apertura.

El módulo de extracción está constituido también por un autómatas programable, encargado de controlar la apertura y cierre de las válvulas.

- **Sistema de inspección**

El sistema de inspección está constituido por los 3 elementos siguientes:

- Módulo de iluminación

El sistema de iluminación ha sido especialmente diseñado para la aplicación, ya que el cobre y los metales en general, provocan brillos y destellos, que impiden que la imagen que obtenga la cámara sea de buena calidad para ser procesada y obtener información valiosa de ella.

Como ya se ha indicado en la descripción general, un aspecto muy importante en un sistema de visión artificial es la iluminación. El 50% del éxito de una aplicación de este tipo radica en lo adecuado que sea para el problema a solucionar. Así, existen diferentes métodos de iluminación, diferenciados por la disposición relativa de la luz respecto a la cámara y al objeto: directa, indirecta, de campo oscuro...y por la naturaleza de las luces: fluorescentes, LEDs, halógenos. Hay que estudiar cada caso concreto y elegir tanto la disposición como los elementos que nos van a proporcionar el tipo de luz y la intensidad adecuada.

Para la inspección del cobre, por su carácter metálico, es necesario evitar los brillos, ya que pueden saturar la cámara y ocasionar que la imagen recibida sea blanca (como cuando el sol ciega nuestras cámaras). El sistema de iluminación diseñado incluye elementos difusores y una forma semicircular adecuada para asegurar una iluminación uniforme, y sin brillos en toda la superficie.

- Cámara

Para la adquisición de información de un sistema en continuo movimiento es preciso emplear lo que se denominan cámaras de línea. La velocidad de grabación depende del movimiento de la cinta transportadora, que es transmitido mediante una serie de pulsos generados por un encoder. Este encoder, ubicado en el rodillo de la cinta, genera pulsos a medida que gira sobre sí mismo como consecuencia del desplazamiento de la cinta. Tras un número predeterminado de líneas, se constituye una imagen, que será procesada.

- Software de procesamiento de imagen

La imagen así obtenida es procesada mediante un algoritmo que identifica las partículas por color o forma. En este caso, el color rojizo del cobre, indistinguible del fondo (la cinta) es un color muy saturado. Las partículas de plomo, aluminio y demás presentan tonalidades más oscuras y por tanto, menor saturación. La secuencia de procesamiento de imagen se muestra a continuación:

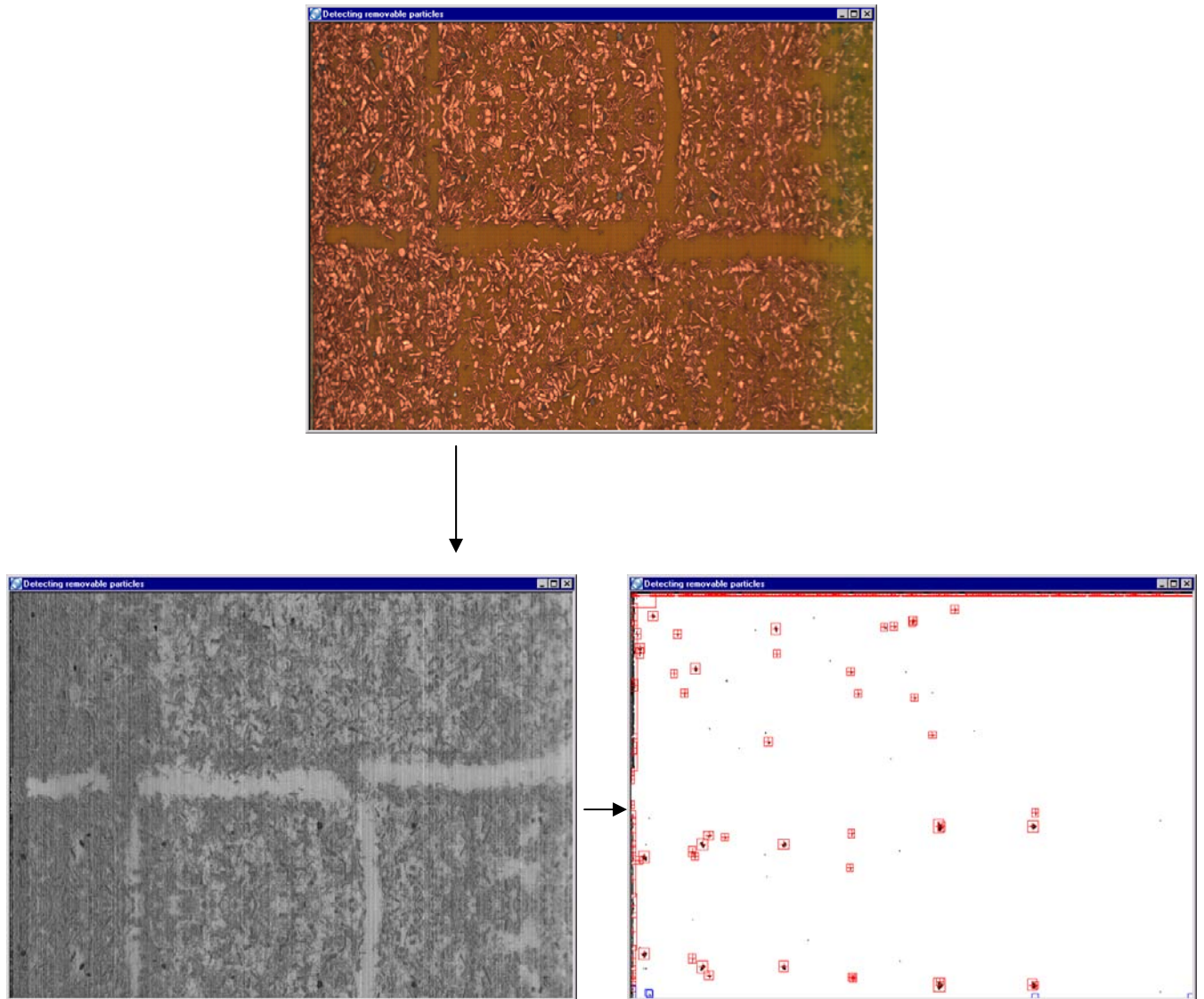


Fig. 2. Secuencia de procesamiento de imagen

De cada una de estas partículas se obtiene la posición en  $x$  e  $y$  en la imagen. La posición  $x$  corresponde a la válvula que debe abrirse para eliminar esa partícula, y la posición en  $y$  corresponde al pulso en el que debe abrirse esa válvula. El pulso en  $y$  concreto se puede conocer ya que, como se ha explicado previamente, la frecuencia de adquisición de las líneas viene regida por el encoder vinculado a la cinta transportadora y porque la distancia entre línea de inspección y sistema de extracción es conocida. La precisión y exactitud en la determinación de este dato es fundamental para poder extraer la partícula adecuada. En caso de información ligeramente desviada, serán otras partículas las extraídas, que posiblemente sean de cobre puro. Errores de este tipo causan que se elimine parte del cobre junto con las impurezas. Será un objetivo minimizar esto.

- **Integración y control del sistema**

El control de todo el sistema integrado se realiza a través de un PC. El algoritmo de control se comunica con todos los módulos: captación, extracción, motor de la cinta transportadora,

contador de pulsos de encoder. Existen 3 procesos paralelos perfectamente sincronizados: grabación, procesamiento y comunicación con el autómata programable que regula la extracción. No es posible analizar una imagen hasta que el proceso de captación le comunique al de procesamiento que él ya ha terminado de grabar una imagen completa. Asimismo, no se enviará el bloque de datos con el número de las válvulas a abrir y su pulso correspondiente hasta que el procesamiento haya dado la salida pertinente y active este proceso de comunicación. Además de esto, el algoritmo de control también recibirá la información desde la interfaz de la aplicación, donde el usuario podrá señalar el tipo de mezcla a inspeccionar, el tamaño mínimo y máximo de sus componentes o seleccionar la velocidad.

El sistema de extracción, constituido por 40 electro válvulas de aspiración es controlado por un autómata programable. Un autómata programable, también llamado PLC, es un elemento empleado en aplicaciones de control, de fundamento similar al de un ordenador, pero cuya sencillez de funciones y ausencia de sistema operativo tipo Windows, le permite operar más rápidamente y libre de interrupciones. Se programa la secuencia de operaciones que se desean realizar y una vez descargado el programa sobre su CPU, las realiza automáticamente hasta que se indique lo contrario. Se ha elegido ya que, aunque su programación puede resultar más complicada que con interfaces más amigables de otras herramientas de control, el lenguaje máquina en el que se generan las instrucciones garantiza repetitividad y velocidad, ambas esenciales para el buen funcionamiento de esta aplicación de separación on-line. Desde este programa del PLC se gestiona la apertura y cierre de las válvulas, así como el tiempo que permanecen abiertas. También se controla el movimiento de la cinta transportadora actuando sobre el motor, al modificar la frecuencia del variador que lo gestiona.

El algoritmo de control chequea de manera continua cada uno de los elementos, de manera que en cuanto se produce un error, se conoce la localización del mismo y la causa.

En la interfaz de usuario se ha introducido una ventana de comunicación con el usuario, de manera que éste es informado en todo momento del estado del conjunto. A través de esta ventana se muestran también los errores acaecidos.

No se van a detallar aquí todos los problemas surgidos durante el desarrollo, simplemente decir que han sido bastantes y no siempre fáciles de solucionar. Los principales se han debido a la gestión de tanta cantidad de información en tiempo real, a la sincronización de los elementos de la máquina y a los problemas de ruidos eléctricos debido al acoplamiento de señales provenientes de todos los elementos constituyentes del sistema.

## **RESULTADOS OBTENIDOS**

Los resultados obtenidos son muy esperanzadores para poder continuar en esta línea de investigación. Se han realizado bastantes pruebas de manera continua, en producción, y la reducción observada de las ppm de impurezas en el material resultante con respecto al entrante ha sido notable. A modo de ejemplo, en las mezclas donde la diferencia de saturación entre el cobre y el resto de las partículas a eliminar son más acentuadas, los resultados han sido más sorprendentes. Por ejemplo, en determinado material se ha logrado una reducción de 8.000 ppm a 1.200 ppm de Plomo.

Mencionar, también como resultado del proyecto, que acabamos de recibir la notificación de la concesión de la patente por el concepto general de máquina aquí descrito, completamente novedoso para estas aplicaciones.

## **CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS**

Aún quedan muchas cosas que mejorar dentro de este sistema, así como velocidades y eficiencias del sistema de extracción, mayor rapidez de procesamiento, prevención de errores,

de manera que se reduzcan los inconvenientes al mínimo, y sea posible aumentar el caudal de producción. El método ha sido validado con creces, pero aún surgen algunas limitaciones que impulsan nuevas líneas de investigación. Este sistema distingue y separa partículas que son distinguibles bien por color, bien por forma. Pero, ¿qué pasa con aquellas que no lo son? Es necesario buscar métodos alternativos de inspección para poder cubrir todas las necesidades del mercado de reciclado. En Robotiker, ésta está siendo una de las líneas actuales de investigación del equipo de visión artificial.

Para hacer una breve reseña al estado del arte sobre este tipo de tecnologías, decir que en el comienzo del proyecto no había ningún sistema similar en el mercado. Actualmente, existen 3 sistemas similares:

- STEINERT (Alemania), con un sistema FFS de identificación por color (no por forma)
- SSE (Alemania), con el sistema Metal X Spectra Sense.
- PICVISA (España), con sistema Ecoscrap.

A pesar de que sus prestaciones son inferiores a las de nuestro sistema.

Además, teniendo en cuenta la nueva normativa europea sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y sobre la restricción de uso de determinadas sustancias, en la que se está trabajando actualmente en las administraciones, es un aspecto de gran importancia que nos afecta a todos, y que también está siendo impulsado por la Comisión Europea de investigación. En esta línea ROBOTIKER ha presentado una propuesta dentro del 6º Programa Marco, en la línea temática de Nuevos Procesos de Producción, pendiente aún de conocer el resultado de la evaluación.