



Marcadores avanzados para la identificación de envases

Para obtener productos reciclados de alto valor añadido, se requiere de un material de origen de calidad. En el presente trabajo se estudian las posibilidades de aplicación de marcadores UV para la identificación de envases y su potencial integración en los sistemas de gestión de residuos.

M.A. Górriz Peris

Técnico de Proyectos de la Unidad de Sistemas de Reciclado y Valorización de Residuos de ITENE

Palabras clave

Reciclado, residuos, gestión, UV, sostenibilidad

MARCADORES AVANZADOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ENVASES

Estrategia de plásticos, objetivos 2030 o Green Deal son solo algunos de los idearios sobre los que se fundamenta la hoja de ruta de los países europeos para dirigirse hacia la circularidad de los recursos. Actualmente, el reciclado de los materiales depende en gran medida de una correcta separación en origen y de una infraestructura adecuada que permita su identificación y separación efectiva. Esto es fundamental para la posterior implantación de procesos de reciclado que aseguren productos de alto valor, con un impacto positivo tanto económico como medioambiental.

Uno de los mayores retos a los que se enfrentan gestores y recicladores de plásticos es precisamente garantizar la pureza del material clasificado e identificar el origen de dicho material. De hecho, para alcanzar un grado de descontaminación adecuado y facilitar su posterior reintroducción en aplicaciones de alto valor añadido (entre las que se encuentra el grado alimen-

tario o *food-contact*) es fundamental asegurar tanto la eliminación de los impropios de una corriente como poder trazar e identificar la procedencia del material a tratar. En paralelo, se han establecido ambiciosos objetivos europeos que marcan la necesidad de fabricar botellas de bebidas con al menos un 30% de material reciclado [1] o la necesidad de utilizar envases plásticos reciclables, reutilizables o compostables en 2030 [2].

Por ello, surge la necesidad de aumentar las tasas de reciclado en las plantas de gestión de residuos de envases y, en ciertos casos, se hace necesaria la obtención de flujos de materiales con purezas en torno al 95-99%, lo cual es una de las premisas exigidas por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, por sus siglas en inglés) [3] para poder desarrollar procesos de descontaminación que permitan reintroducir el material reciclado en aplicaciones de contacto alimentario.

En el caso del PET, este objetivo es más fácilmente alcanzable por su gran consumo en el producto "botella" y por tanto la posibilidad de realizar un reciclado

bottle-2-bottle (de botella a botella). Sin embargo, en el caso de las poliolefinas (PO), el origen de estos envases es más diverso, pudiéndose utilizar en aplicaciones tan diversas como limpieza, cosmética o alimentación. Para reducir esta incertidumbre y facilitar el desarrollo de nuevos procesos de reciclado, la trazabilidad del residuo es fundamental.

El Instituto Tecnológico del Embalaje, Transporte y Logística (ITENE), a través el proyecto PLASDECOR, ha trabajado en la generación de conocimiento en torno a alternativas de identificación de residuos de envase, tratando de responder a la siguiente pregunta: ¿Y si fuéramos capaces de introducir en envases marcadores no detectables a simple vista pero que se activen bajo la acción de la luz ultravioleta (UV)? Esto permitiría complementar la tecnología de clasificación mediante luz infrarroja (IR), ampliamente utilizada, y permitir la separación sencilla de más materiales.

Esta solución ha sido explorada en el pasado en diversas aplicaciones para reconocimiento e identificación de objetos [4], inspección por líquidos penetrantes e incluso existen otros proyectos paralelos en Reino Unido que pretenden también la integración de esta tipología de marcadores para la clasificación de residuos de envase [5,6].

MATERIAL Y MÉTODOS

En concreto, en ITENE se ha trabajado en la selección de estos marcadores y en el diseño de un sistema capaz de visualizar y analizar la respuesta UV.

Los marcadores seleccionados son compuestos químicos capaces de absorber energía de una longitud de onda específica (λ_a) y volver a emitir en otra determinada de mayor longitud de onda (λ_e , con menor energía). La cantidad de energía emitida y su longitud de onda dependen tanto del propio compuesto como de su ambiente químico. Estos compuestos tienen la capacidad de absorber la luz en el UV y la región violeta (generalmente 300-400nm) del espectro electromagnético y de emitir nuevamente luz en la región visible (típicamente 400-600nm). Los condicionantes principales tenidos en cuenta para la realización de dicha selección han sido los siguientes:

- Curvas de absorción-emisión. El marcador debe tener una λ_a máxima cercana a la longitud de emisión de la lámpara UV (Imagen 1).

- Aplicabilidad. Estos mismos deben ser compatibles con las matrices poliméricas en las que serán integrados y a su vez que estén aprobados por EFSA, para cumplir con requerimientos *food-contact*.

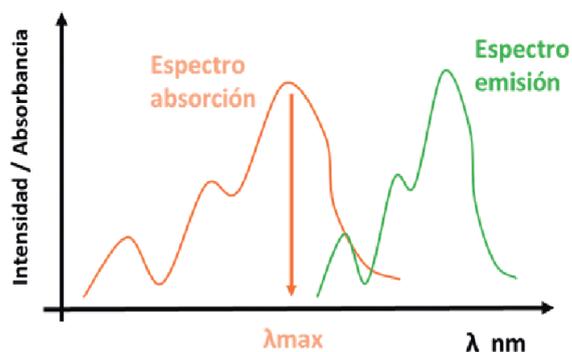


Imagen 1 - Curvas de absorción-emisión genérica de una sustancia química fluorescente

- Tª Procesado/Degradación. Material de aplicación y marcador deben estar alineados en cuanto a la temperatura de procesado para evitar la degradación o favorecerla en caso de que se quiera eliminar el marcador posteriormente.

Para su detección y análisis, se ha trabajado en el montaje y configuración de un prototipo de detección ad-hoc para este proceso, el cual cuenta con la siguiente instrumentación (Imagen 2):



Imagen 2 - Sistema de detección e identificación de marcadores UV en polímeros

- Lámpara UV de $\lambda = 300-450$ nm.
- Cámara de gran resolución con software de procesado de imagen (capaz de capturar imágenes en una cinta a 3-5 m/s).
- Cabina oscura (homogeneidad de condiciones).

Para el análisis y tratamiento de imágenes se han utilizado diferentes softwares de tratamiento de imagen con variables asociadas a la intensidad de luz de la imagen en el monocolor y a las diferencias en espectro RGB (rojo, verde, azul). En sendas opciones, tras el procesado de la imagen, se proporciona un histograma donde se describen las características de cada píxel en

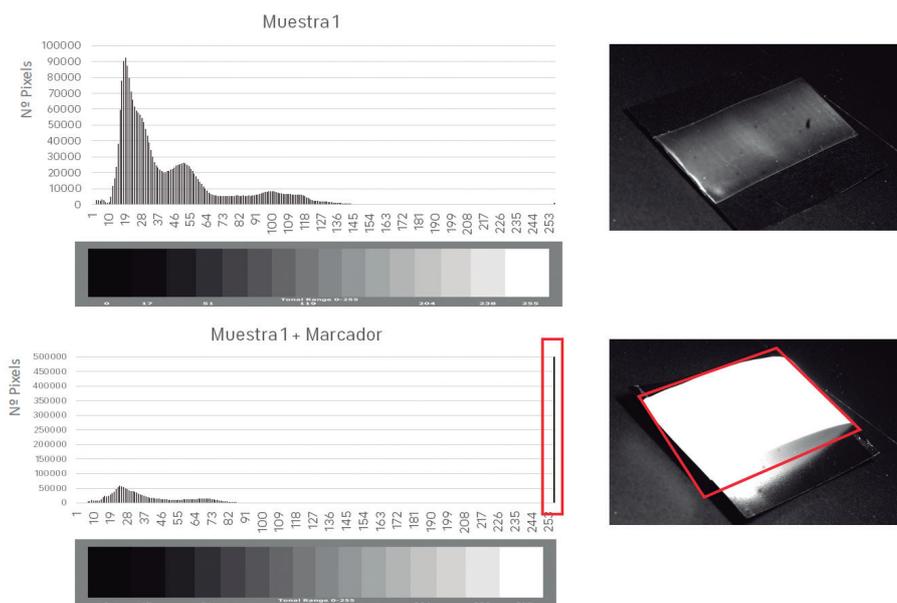


Imagen 3 - Respuesta/Análisis de Muestra 1 con y sin marcador bajo la acción de la luz UV. Histogramas de Luminancia de Imagen. N.º de píxeles en las ordenadas y escala de grises (0 a 255) en las abscisas

una escala de 0 a 255, siendo el 0 y 255 el negro y blanco absoluto respectivamente para el caso del monocolor (ejemplo de análisis del marcador en Imagen 3), y de manera análoga en su variante tricolor RGB.

En cuanto a la integración de estos marcadores en la matriz polimérica, se han realizado ensayos de compatibilización de estos marcadores en la matriz tanto en forma de granza como directamente en la extrusión de films. Además, se ha trabajado en su aplicación en forma de recubrimientos, buscando alternativas flexibles según sea el ciclo al que está destinado el envase en su aplicación. A continuación, se tratan los resultados observados de la integración de los marcadores directamente en la matriz de los films.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis experimental de las muestras ensayadas se centra en:

1. Integración de los marcadores en la matriz (compatibilización, recubrimiento, etc.).
2. Análisis de las respuestas UV (sistema detección – procesado de imagen).
3. Reprocesado del marcador y remanencia.

Tras ensayar distintos tipos de marcadores a distintas concentraciones, se ha definido la respuesta óptima para tres marcadores en los que también se ha experimentado con su combinación para generar identificadores únicos en una corriente de material específica y describir su respuesta UV en el espectro visible. En las Imágenes 4 y 5, se presenta un ejemplo de un mismo marcador aplicado a diferentes concentraciones y su

respuesta en el análisis del RGB. Se observa que la respuesta de la muestra a) satura la imagen en el blanco y los valores de RGB alcanzan prácticamente la media de 255 en la zona iluminada de la imagen. Las dos muestras consecutivas con menor presencia del marcador b) y c) van reduciendo su intensidad de color, sobre todo en las dos tonalidades alejadas de la zona azul del visible que se encuentra limitando a la UV en el espectro.

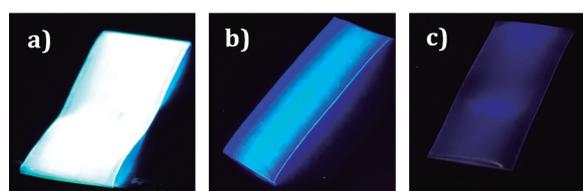


Imagen 4 – Muestras de film-PO con marcador UV a diferentes concentraciones (a>b>c). Sus correspondientes análisis de respuestas RGB en Imagen 5

Esta respuesta se repite en los demás marcadores a otras escalas de intensidad, y la combinación de los mismos proporciona tonalidades de color intermedias. Estos análisis básicos de color e intensidad son prácticamente aplicables a cualquier imagen captada por cámaras comerciales, lo que posibilita la integración de este tipo de técnicas de identificación en los sistemas de detección con visión artificial u otras tecnologías de reconocimiento. Paralelamente, se realizó el análisis de infrarrojo (IR) para determinar si la presencia del marcador influía en la lectura de dicho polímero (y que de esta manera no influya en la lectura de los ópticos-NIR de las plantas de clasificación).

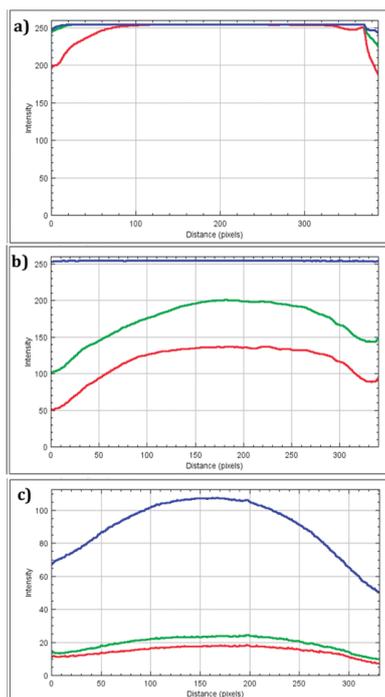


Imagen 5 – Análisis del espectro RGB de muestra con marcador sobre poliolefina flexible. Las gráficas muestran la distancia en píxeles (de la zona iluminada objeto de estudio) en el eje de abscisas y la intensidad de cada color en el de ordenadas

Posteriormente se realizaron 6 ciclos reciclado (Imagen 6) del material a unos 200°C para analizar la remanencia del marcador tras su reprocesado y uno de los marcadores utilizados mostró resistencia a dichas condiciones. Este resultado puede resultar de interés para ciertas aplicaciones donde se pretenda asegurar la trazabilidad del material, buscando otro tipo de marcadores (cuya respuesta se degrada en el reprocesado) en plásticos destinados al reciclado en ciclos abiertos.



Imagen 6 – Simulación de reciclado con 6 ciclos de reprocesado. Remanencia del marcador en la muestra

CONCLUSIÓN

El proyecto PLASDECOR ha demostrado la posibilidad de utilizar marcadores específicos para separar flujos de material según su tipología y origen (ej. poliolefinas de origen alimentario para recuperación o envases multicapa para rechazo). Además, se busca la no-interferencia con la infraestructura actual de detección en

plantas de residuos (NIR) y la compatibilidad con los sistemas de inteligencia artificial basados en cámaras de gran resolución. Estos marcadores pueden ser también utilizados para complementar el triaje manual, permitiendo detectar los envases objetivo a simple vista con la instrumentación de iluminación correspondiente. Estos resultados abren un abanico de posibilidades para la identificación de envases de origen tanto doméstico como industrial y comercial. Con todo, esta tecnología es capaz de abrir diversas posibilidades técnicas:

- Identificación de envases de alto valor añadido.
- Mejora de la calidad de los flujos de material recuperado.
- Obtención de nuevas fracciones de material recuperado de elevada calidad y potencialidad.
- Asegurar la trazabilidad y la disponibilidad de materia prima reciclada.
- Adaptación de marcadores según las necesidades específicas del envase según su material, aplicación y entorno real.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto PLASDECOR está financiado por el Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial de la Generalitat Valenciana (IVACE), a través del Fondo Europeo del Desarrollo Regional (FEDER), en el marco del programa de ayudas dirigidas a centros tecnológicos.

LISTADO DE ABREVIACIONES

EFSA – European Food Safety Authority

PET – Polietileno Tereftalato

PO – Poliolefina

UV - Ultravioleta

IR – Radiación Infrarroja

λ – Longitud de onda de absorción

λ_e - Longitud de onda de emisión

T^a – Temperatura

RGB – Red-Green-Blue

NIR - Near-infrared spectroscopy (Espectroscopia del infrarrojo cercano)

Referencias Bibliográficas:

- [1] DIRECTIVA (UE) 2019/904 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 5 de junio de 2019 relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente, <https://www.boe.es/doue/2019/155/L00001-00019.pdf>
- [2] Una estrategia europea para el plástico en una economía circular (SWD(2018) 16 final), Estrasburgo, 16.1.2018 COM(2018) 28 final, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2df5d1d2-fac7-11e7-b8f5-01aa75ed71a1.0023.02/DOC_1&format=PDF
- [3] EC, 2011. Regulation (EU) No 10/2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food.
- [4] McGuinness, W.G., Clay, B.J., 1984. "Object recognition and identification system using ultraviolet fluorescent materials" WO 1984003646 A1.
- [5] Pilon L., Stewart A., Bahia R., Hintschich S., Willner C., Eder H., 2015. "Removable Identification Technology to Differentiate Food Contact PET in Mixed Waste Streams"
- [6] Edward K., Rafi Ahmad, Edwin Billiet, Martin Kay, Jonathan Mitchell, Kelvin Davies, 2016 "Recycling of food grade packaging using fluorescent markers"