

**CONAMA 2022**

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

# Proyecto NONTOX:

creando una cadena de valor limpia y circular en el sector del plástico



PROYECTO NONTOX

**Autor Principal:** Lidia Amodio (Instituto IMDEA Energía)

**Otros autores:** Patricia Pizarro (Instituto IMDEA Energía), David P. Serrano (Instituto IMDEA Energía)

PROYECTO NONTOX

## ÍNDICE MÍNIMO

1. Resumen
2. Introducción a la problemática de la gestión y valorización de residuos plásticos
3. Objetivo del proyecto NONTOX
4. Metodologías aplicadas para aumentar la tasa de reciclado mediante el proyecto NONTOX
5. Valorización termoquímica de residuos plásticos en el proyecto NONTOX: principales resultados
6. Bibliografía

### 1. RESUMEN

El proyecto NONTOX (de la convocatoria H2020 “Greening the economy in line with the Sustainable Development Goals (SDGs)” con referencia SEP-210487195) surge como iniciativa de colaboración entre universidades, centros de investigación y empresas europeas con el objetivo principal de aumentar las tasas de reciclado actuales de los residuos plásticos. En particular, trata de desarrollar una cadena de valor integrando procesos de reciclado mecánico y químico de plásticos residuales procedentes de los sectores eléctrico y electrónico, vehículos fuera de uso y de construcción y demolición, manteniendo como máxima la eliminación de manera segura y eficiente de sustancias peligrosas e indeseables habitualmente presentes en dichos residuos (ej. halógenos). Como ruta de reciclado principal o primario se plantean dos tecnologías diferentes para la eliminación de sustancias peligrosas de los residuos plásticos, basadas en extracción selectiva con disolventes y en la difusión de CO<sub>2</sub> supercrítico mediante extrusión, respectivamente. Aquellos plásticos no aptos para el reciclado primario, o los residuos derivados del mismo, se procesan mediante un esquema integrado de pirólisis catalítica seguido de hidrotreamiento catalítico para lograr una máxima deshalogenación de los aceites de pirólisis así generados. En el caso concreto de la conversión termoquímica de los residuos plásticos, en la presente comunicación se presentan los retos u objetivos propuestos en el proyecto y los principales resultados obtenidos, mostrando que se trata de una alternativa de gran potencial para contribuir a mejorar la circularidad de los plásticos.

### 2. INTRODUCCIÓN A LA PROBLEMÁTICA DE LA GESTIÓN Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS

El plástico es hoy en día un material esencial para la sociedad empleado en muchas aplicaciones diferentes, tanto convencionales como de alta tecnología, habiendo experimentado un rápido crecimiento en su producción y consumo. Según las últimas estadísticas (Plastics Europe, 2020) la producción europea de plástico es de casi 55 Mt (2020), de las cuales el 20,4 % corresponde al sector de la Construcción; el 8,8 % al de automoción y el 6,2 % al de equipos eléctricos y electrónicos (RAEE); siendo estos tres sectores en los que se centra el proyecto NONTOX.

Aunque la tasa de reciclado de plástico usado en Europa ha aumentado en los últimos años, sigue siendo baja (alrededor del 34 % del material recogido), mientras que el resto es tratado con soluciones no circulares (vertedero e incineración). Según los objetivos de reciclado establecidos por la UE para 2020 hace más de una década, todos los miembros deberían haber alcanzado este año una tasa de reciclado de residuos municipales del 50 %, endureciéndose este criterio hasta valores de 60 y 65 % para 2030 y 2035, respectivamente. No obstante, en el caso de los residuos plásticos su reciclado se ve obstaculizado por la presencia de sustancias peligrosas (por ejemplo, el 30 % de los plásticos RAEE contienen retardantes de llama) (Yang, et al., 2013) que hace que los procesos de reciclado disponibles no sean tecno-económicamente viables ni ambientalmente sostenibles. De este modo, la fracción de residuos plásticos que contienen estas sustancias se suelen incinerar o se depositan en vertederos, con consecuencias potencialmente dañinas para la salud humana y el medio ambiente. Es necesario, por tanto, elaborar un plan para abordar los desafíos que plantean los plásticos a lo largo de su cadena de valor y teniendo en cuenta todo su ciclo de vida. La identificación de aditivos peligrosos en los

## PROYECTO NONTOX

flujos de plástico y el desarrollo de soluciones de reciclaje de plástico rentables son un desafío para crear mercados viables para los plásticos reciclados.

### 3. OBJETIVO DEL PROYECTO NONTOX

El proyecto NONTOX (<http://www.nontox-project.eu/>) pertenece a la convocatoria H2020 “Greening the economy in line with the Sustainable Development Goals (SDGs)” (referencia SEP-210487195) y surge como iniciativa de colaboración entre 11 instituciones que incluyen universidades, centros de investigación y empresas europeas, con una duración de 3 años (2019-2022). Su objetivo principal es aumentar la tasa de reciclado de residuos plásticos peligrosos mediante el desarrollo, optimización e integración de diferentes tecnologías (mecánicas y termoquímicas) que permitan producir plásticos reciclados de alta calidad u otros productos químicos de interés, eliminando las sustancias peligrosas de manera segura. Con el fin de garantizar la eficacia del proceso propuesto, el proyecto tiene en cuenta toda la cadena de valor, desde la clasificación de los residuos plásticos, hasta la valorización de los productos reciclados y la utilización segura de las sustancias peligrosas eliminadas.

En particular, NONTOX se centra en el reciclado de plásticos provenientes de los sectores eléctrico y electrónico (RAEE), vehículos al final de su vida útil (ELV) y Construcción y Demolición (C&D). La mayoría de estas fracciones contienen aditivos peligrosos o compuestos no deseados, como los retardantes de llama, estabilizadores que incluyen metales pesados, rellenos o colorantes orgánicos y COPs (contaminantes orgánicos persistentes) listados en la convención de Estocolmo. La identificación y eliminación de estas sustancias es un aspecto esencial en el proyecto, ya que su presencia dificulta la reciclabilidad del flujo de desechos plásticos que lleva a su incineración o vertedero.

### 4. METODOLOGÍAS APLICADAS PARA AUMENTAR LA TASA DE RECICLADO MEDIANTE EL PROYECTO NONTOX

El proyecto NONTOX se basa en la integración de procesos de reciclado mecánico y químico diseñados en función de la tipología del residuo plástico (polímero constituyente, grado de degradación, presencia de contaminantes, etc.), tal como se ilustra en la Figura 1. Como ruta de reciclado principal o primario se plantean dos tecnologías diferentes para la eliminación de sustancias peligrosas de los residuos plásticos: Extruclean, consistente en la difusión de CO<sub>2</sub> supercrítico en el plástico dentro de un extrusor (AIMPLAS, 2018), y CreaSolv® basada en procesos de extracción selectiva con disolventes (Schlummer et al., 2020). Los principales productos de dicho reciclado incluirán plásticos como ABS, EPS, PS, HIPS, PE, PP que de manera conjunta representan cerca de la mitad de la demanda de plásticos de la UE. Asimismo, y con el fin de facilitar los tratamientos de reciclado posteriores, se han identificado y evaluado técnicas de pretratamiento y clasificación de los residuos plásticos.

Por último, se ha propuesto e investigado la conversión termoquímica de aquellos plásticos no reciclables, así como de los residuos generados en los principales procesos de reciclado, con el objetivo de obtener productos químicos de valor comercial, ayudando así a mejorar la viabilidad económica del proceso global y evitando el envío a vertedero o la incineración de dichos

## PROYECTO NONTOX

residuos no susceptibles de reciclado mecánico. Esta ruta termoquímica consiste en el tratamiento secuencial del residuo mediante pirólisis catalítica con un posterior hidrotratamiento catalítico del aceite de pirólisis para maximizar el grado de eliminación de compuestos halogenados no deseables.

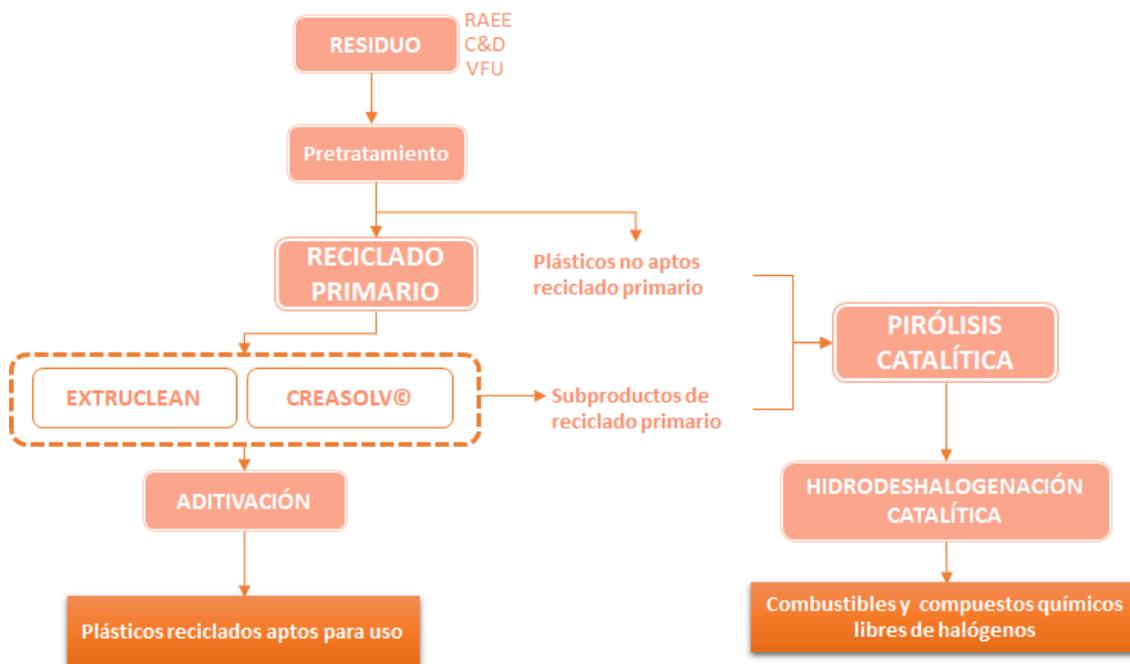


Figura 1. Concepto del proyecto NONTOX

## 5. VALORIZACIÓN TERMOQUÍMICA DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN EL PROYECTO NONTOX: PRINCIPALES RESULTADOS

Aunque la pirólisis es un proceso conocido desde la antigüedad, en los últimos años ha adquirido especial relevancia como alternativa tecnológica para el procesamiento de residuos sólidos orgánicos con el fin de evitar su gestión en vertederos o incineración (Ardolino et al., 2021). Entre sus ventajas o particularidades que la hacen tan interesante se encuentra, no sólo el hecho de ser ya una tecnología madura (en el caso de la pirólisis térmica o no catalítica), sino además su versatilidad en cuanto a tipo de materiales a procesar y los productos que puede obtenerse a partir de ellos.

La pirólisis puede definirse como la descomposición térmica de cualquier material orgánico en ausencia de oxígeno (Scheirs, 2006). De este modo, cuando un material orgánico, generalmente sólido, constituido por macromoléculas o polímeros, es sometido a una cierta temperatura (en torno a 500 °C) en atmósfera inerte, sufre un proceso de despolimerización o ruptura de enlaces moleculares generando compuestos de menor tamaño. Como resultado de dicha degradación, se obtienen tres fracciones principales: gas (CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub> e hidrocarburos ligeros); sólido (material

## PROYECTO NONTOX

carbonoso denominado char); y líquido (aceites con composiciones variables de compuestos orgánicos y/o agua). La proporción y propiedades de cada una de estas fracciones depende de la naturaleza del residuo alimentado en el reactor de pirólisis y de las condiciones de operación (Kunwar, B. et al., 2016).

En el caso de los residuos plásticos a procesar en el proyecto NONTOX, la fracción de mayor interés es el aceite ya que podría contener productos de interés comercial o bien realimentarse en refinería, donde se recuperaría la materia de partida para la producción de plásticos, combustibles o disolventes. No obstante, los residuos plásticos que han de procesarse mediante pirólisis en el proyecto son aquellos clasificados como no aptos o los subproductos derivados del reciclado mecánico, presentando como principal problemática un elevado contenido en halógenos (en particular, compuestos clorados y bromados) que podrían resultar en la contaminación de los aceites haciéndoles inviables para su comercialización. Es necesario, por tanto, que el proceso de pirólisis a desarrollar integre las medidas adecuadas para asegurar la obtención de aceites con composiciones comerciales y libres de halógenos.

Tal como se ilustra en la Figura 1, en el proyecto NONTOX se ha propuesto e investigado el acoplamiento secuencial de la pirólisis e hidrot ratamiento catalíticos, ambos trabajando en diferentes condiciones de operación y buscando sinergias para una mejor economía de proceso. A continuación, se describe el fundamento y metodología aplicada en cada una de estas etapas, esquematizadas en la Figura 2:

- **Pretratamiento:** en el caso de residuos plásticos con elevados contenidos en halógenos (>10.000 ppm), es efectivo llevar a cabo un lavado previo donde se elimina principalmente el cloro inorgánico (sales).
- **Pirólisis catalítica ex-situ:** consta a su vez de dos etapas diferenciadas (Zhou et al., 2016). En la primera el residuo plástico sólido es degradado térmicamente en ausencia de catalizador, generando una pequeña fracción de char y una corriente mayoritaria de vapor (vapores de pirólisis primarios). Los vapores de pirólisis primarios se hacen pasar seguidamente por un lecho catalítico que promueve reacciones de deshalogenación, craqueo y otras secundarias como isomerización y aromatización.
- **Hidrodeshalogenación catalítica:** se trata de un hidrot ratamiento (Menini et al., 2000) a presiones moderadas, en atmósfera de hidrógeno, de los aceites de pirólisis catalítica en presencia de un catalizador específico para este tipo de reacciones.

Los **objetivos** establecidos en el proyecto NONTOX en el reciclado termoquímico de residuos plásticos son lograr un **rendimiento másico en aceites superior al 50% con un contenido en halógenos inferior a 10 ppm**. Buscando la economía de proceso, los catalizadores planteados en la etapa de pirolisis catalítica están basados en materiales baratos y fácilmente disponibles (óxidos de hierro y calcio), para que puedan reducir el contenido en halógenos y proteger de la desactivación los catalizadores de hidrodeshalogenación (basados en fase activas más valiosas como paladio o níquel).

Los **resultados** obtenidos indican que mediante la optimización del proceso se consigue obtener aceite orgánico como producto mayoritario, con **rendimientos másicos desde un 50 % hasta un 98%**. En cuanto al grado de deshalogenación **en las etapas de pirolisis térmica y catalítica se elimina hasta un 85% respecto al contenido del plástico de partida**, mientras **en la etapa de hidrodeshalogenación se consigue una total eliminación del bromo y un contenido en cloro inferior a 10 ppm**. La mayor parte (90 %) de los compuestos halogenados inicialmente presentes

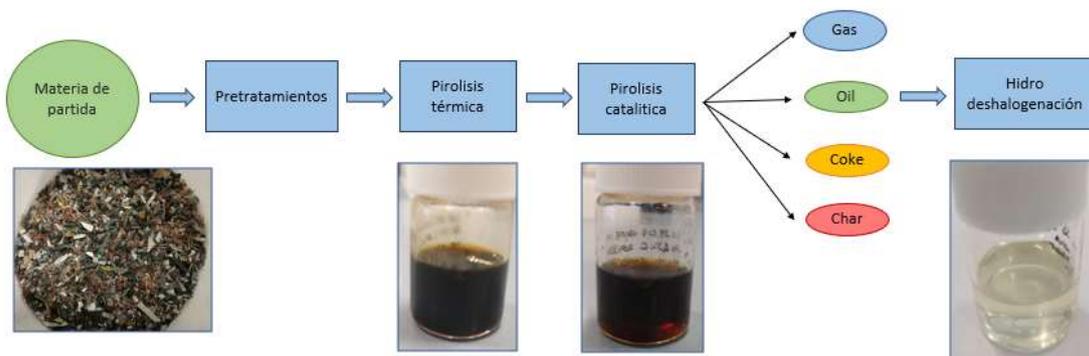
## PROYECTO NONTOX

en los residuos plásticos quedan retenidos en el char de pirólisis, evitando su emisión a través de gases al entorno.

En cuanto a la calidad de los aceites de pirólisis producidos, los resultados experimentales indican que los principales compuestos detectados son los monómeros que constituyen los plásticos originarios, o derivados de los mismos. De este modo, en su mayor parte se trata de productos de alto valor añadido y con elevado poder calorífico que, junto con el bajo contenido en halógenos, confirman su potencial viabilidad para su reutilización en la industria química o como combustible.

En el proyecto también se ha evaluado la estabilidad de los catalizadores a lo largo del tiempo de reacción mediante experimentos de pirólisis e hidrodeshalogenación en continuo. Asimismo, los catalizadores usados han sido regenerados y nuevamente evaluados en reacción, mostrando de nuevo resultados muy prometedores, preservando en gran medida su actividad.

En conclusión, este proceso representa una valiosa alternativa para incrementar el índice de recuperación de los plásticos e incentivar la economía circular que impulsa la Unión Europea, mediante la optimización y la sinergia de las distintas etapas de valorización termoquímica.



**Figura 2.** Esquema de proceso de mejora del aceite mediante tratamientos termoquímicos

## BIBLIOGRAFIA

- [1] AIMPLAS, (2018) <http://www.life-extruclean.eu/> 2018.
- [2] Ardolino, F., Cardamone, G. F., & Arena, U. (2021). How to enhance the environmental sustainability of WEEE plastics management: An LCA study. *Waste Management*, 135, 347–359. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2021.09.021>
- [3] Kunwar, B., Cheng, H. N., Chandrashekar, S. R., & Sharma, B. K. (2016). Plastics to fuel: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 421–428. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.10.015>
- [4] Menini, C., Park, C., Shin, E. J., Tavoularis, G., & Keane, M. A. (2000). Catalytic hydrodehalogenation as a detoxification methodology. *Catalysis Today*, 62(4), 355–366. [https://doi.org/10.1016/S0920-5861\(00\)00437-5](https://doi.org/10.1016/S0920-5861(00)00437-5)
- [5] Scheirs, J. (2006). Overview of Commercial Pyrolysis Processes for Waste Plastics. In *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics* (pp. 381–433). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/0470021543.ch15>
- [6] Schlummer M., Fell T., Mäurer, A., Altnau, G. (2020). The Role of Chemistry in Plastics Recycling. *Kunststoffe International* 5, 34-37.
- [7] Plastics Europe, (2020). *Plastics - The Facts 2020, Analysis of European plastics production, demand and waste data.*
- [8] Yang, X., Sun, L., Tang, H., Song, X., & Su, S. (2012). Pyrolysis and dehalogenation of plastics from waste electrical and electronic equipment (WEEE): A review. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.07.025>
- [9] Zhou, X., Broadbelt, L. J., & Vinu, R. (2016). Mechanistic Understanding of Thermochemical Conversion of Polymers and Lignocellulosic Biomass. *Advances in Chemical Engineering*, 49, 95–198. <https://doi.org/10.1016/BS.ACHE.2016.09.002>