

# INFORME LAYMAN

# POLYMIX



Residuos poliméricos en mezclas asfálticas:  
una forma de aumentar la sostenibilidad  
de las carreteras



# Contenido

---

Datos del proyecto .....	ii
Socios del proyecto .....	ii
Más información .....	2
<b>PROBLEMA MEDIOAMBIENTAL</b> .....	1
<b>PROYECTO POLYMIX</b> .....	2
<b>DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b> .....	3
Diseño POLYMIX de las mezclas .....	3
Caracterización de las mezclas POLYMIX .....	5
Technical validation.....	6
Validación económica y medioambiental.....	7
Pasos para la futura reproducción de la tecnología POLYMIX .....	7
<b>RESULTADOS</b> .....	8
<b>BENEFICIOS A LARGO PLAZO</b> .....	11
- Reciclado de residuos.....	12
- Ahorro de recursos.....	12
- Reducción de emisiones.....	12
<b>CONTRIBUCIÓN A LA POLÍTICA EUROPEA</b> .....	13

## Datos del proyecto

**Número del proyecto:** LIFE10 ENV ES 516

**Localización del proyecto:** Cantabria, Madrid y Valencia

**Presupuesto total:** 1.535.225€

**Financiación CE:** 760.091€

**Duración del proyecto:** de 01/11/2011 a 31/08/2014

**El proyecto POLYMIX ha sido financiado por la Comisión Europea como parte del programa LIFE+ bajo la componente Política de Medioambiente y Gobierno.**

## Socios del proyecto

Universidad de Cantabria  
(Coordinador del proyecto)



ACCIONA Infraestructuras



AIMPLAS  
(Instituto tecnológico del plástico)



Consejería de Transportes e  
Infraestructuras de la Comunidad  
de Madrid



## Más información



Contacto: [info@polymixlife.eu](mailto:info@polymixlife.eu)

Sitio web: [www.polymixlife.eu](http://www.polymixlife.eu)

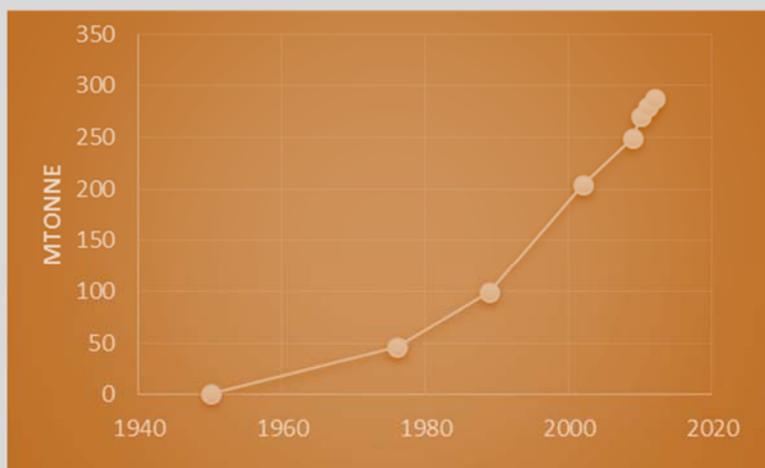
# PROYECTO POLYMIX

## PROBLEMA MEDIOAMBIENTAL

El consumo de residuos poliméricos ha aumentado radicalmente en las últimas décadas. Esta tendencia lleva a la generación de un amplio flujo de residuos que necesita ser correctamente gestionado para evitar daños ambientales.

Actualmente, los polímeros se reciclan a muy bajas tasas en la mayoría de los países, por lo que se están acumulando rápidamente en vertederos no productivos y virtualmente permanentes. Además, necesitan mucho tiempo para descomponerse cuando se llevan a vertederos, y cada vez hay más y más productos poliméricos en el mercado que se desechan muy rápidamente después de su compra. Esta clase de residuo tiene un enorme impacto en el medioambiente, contaminando nuestro suelo y agua. La posibilidad de usar residuo polimérico como materia prima representa un enfoque alternativo a un ciclo de vida sostenible.

Por otra parte, las infraestructuras de carreteras tienen un gran impacto en la economía y sociedad en Europa y globalmente. Sin embargo, cada kilómetro de carretera requiere una gran cantidad de materiales (áridos y betún) y energía no sólo en su construcción sino también en su mantenimiento y rehabilitación. Por lo tanto, investigar en soluciones más eco-efectivas y más sostenibles con el medioambiente es de absoluta necesidad.

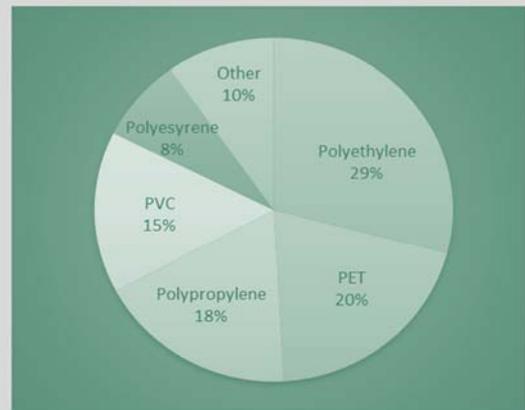


Producción mundial de plásticos (Fuente: PlasticsEurope)

## PROYECTO POLYMIX

La propuesta del proyecto POLYMIX era la adición de estos residuos poliméricos a las mezclas asfálticas. De esta manera, los problemas ambientales asociados a los residuos plásticos se reducen, permitiendo nuevas alternativas para su reutilización. Se esperaba, además, que estas mezclas modificadas presentaran mejores propiedades físicas y mecánicas que las convencionales. De esta forma, el reciclaje de este tipo de residuo no solo conllevaría ventajas medioambientales, sino también el aumento de su valor añadido.

En el marco del proyecto POLYMIX, se seleccionaron tres de los polímeros plásticos más frecuentes: polietileno (PE); poliestireno (PS) y polipropileno (PP), así como neumáticos de fin de uso, para modificar mezclas asfálticas.



Principales plásticos en el mercado  
(PlasticsEurope, 2012)



Planta asfáltica usada en POLYMIX

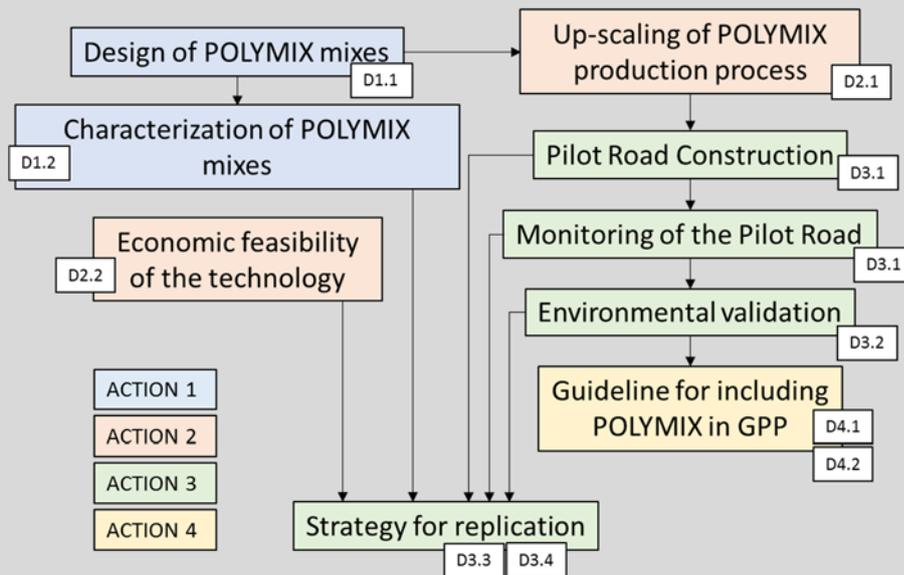
El uso de polímeros en mezclas bituminosas no es nuevo. La modificación de betón incorporando polímeros (proceso en húmedo) es una práctica común con la que se obtiene betón de alto rendimiento. Sin embargo, se necesitan equipos e instalaciones especializadas y el proceso resulta complejo y caro.

El proyecto POLYMIX propone la modificación de mezclas asfálticas añadiendo el polímero directamente al tambor de la mezcladora (proceso en seco). Es un procedimiento sencillo, no necesita inversión inicial elevada y puede realizarse prácticamente en cualquier planta asfáltica sin modificaciones. Esta tecnología es, por lo tanto, fácilmente exportable permitiendo que el residuo polimérico sea reutilizado allá donde es producido, reduciendo así el impacto económico y ambiental.

## DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El objetivo del proyecto POLYMIX es la demostración técnica, económica y ambiental de mezclas asfálticas amigas del medioambiente usando residuo polimérico para modificar mezclas.

Para conseguir este objetivo, el trabajo se dividió en 6 Acciones. El diagrama adjunto muestra las actividades principales realizadas durante el proyecto y la relación entre las tareas.



Actividades y estructura del Proyecto POLYMIX

## Diseño POLYMIX de las mezclas

Se define las mezclas estándar o convencionales calientes como la combinación de ligante de hidrocarburo (betún) y áridos minerales mezclados juntos, de manera que todas las partículas de áridos se bañan con el ligante.

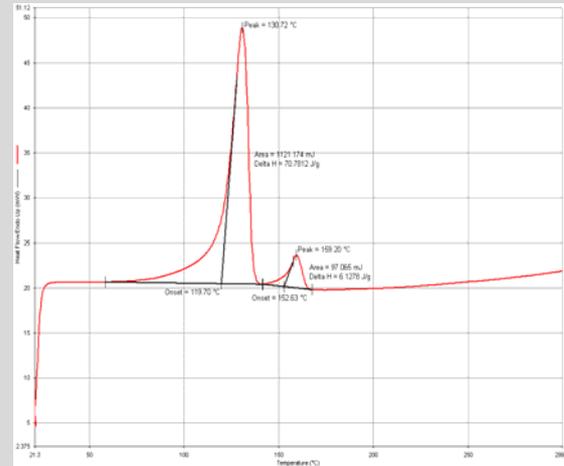
El proyecto POLYMIX intentaba reducir los problemas asociados al residuo polimérico al añadirlo en mezclas convencionales como cualquier otro árido sin modificar el ligante, de manera que el porcentaje de residuo polimérico añadido a la mezcla asfáltica sustituye el mismo porcentaje de árido mineral.



Testigos de las mezclas asfálticas del tramo experimental

## Selección de la procedencia del residuo polimérico

Primero, se ha realizado la selección del residuo polimérico más apropiado para la modificación de mezclas asfálticas. Para esta aplicación, el residuo polimérico tiene que ser tan homogéneo como sea posible, en composición y tamaño, porque será parte de la estructura del árido de la mezcla resultante. Se recomienda el tamaño mínimo para obtener una mezcla estable y homogénea, aunque el criterio económico también tiene que ser tenido en cuenta.



Termograma de Polietileno micronizado

Además, fue necesario caracterizar previamente el material polimérico para desechar cualquier riesgo potencial debido a la inclusión de este componente, como por ejemplo, una respuesta térmica inapropiada al llegar a las altas temperaturas necesarias durante la fabricación de la mezcla. Por este motivo, se llevó a cabo un análisis térmico de los residuos poliméricos.

## Diseño de las mezclas POLYMIX y cambio de escala

Los polímeros que cumplieron los requisitos definidos anteriormente se añadieron a la mezcla asfáltica en diferentes porcentajes. El porcentaje de aditivo plástico sustituye la misma proporción de árido mineral en su fracción más pequeña: el filler. La decisión final del tipo de residuo y el porcentaje de adición se llevó a cabo evaluando la homogeneidad, manejo, trabajabilidad y contenido de huecos de las mezclas fabricadas en el laboratorio.



Ensayo de pista

Puesto que se trata de una nueva tecnología, antes de la etapa de implementación fue necesario analizar los procesos y equipos utilizados en la producción de mezclas asfálticas convencionales y evaluar qué cambios o modificaciones eran necesarios para la fabricación de estas nuevas mezclas. El proceso de producción se validó de forma exitosa mediante la fabricación y ensayo de una pequeña partida de cada tipo de polímero fabricada en la planta asfáltica.



Fabricación en planta de las mezclas POLYMIX

## Caracterización de las mezclas POLYMIX

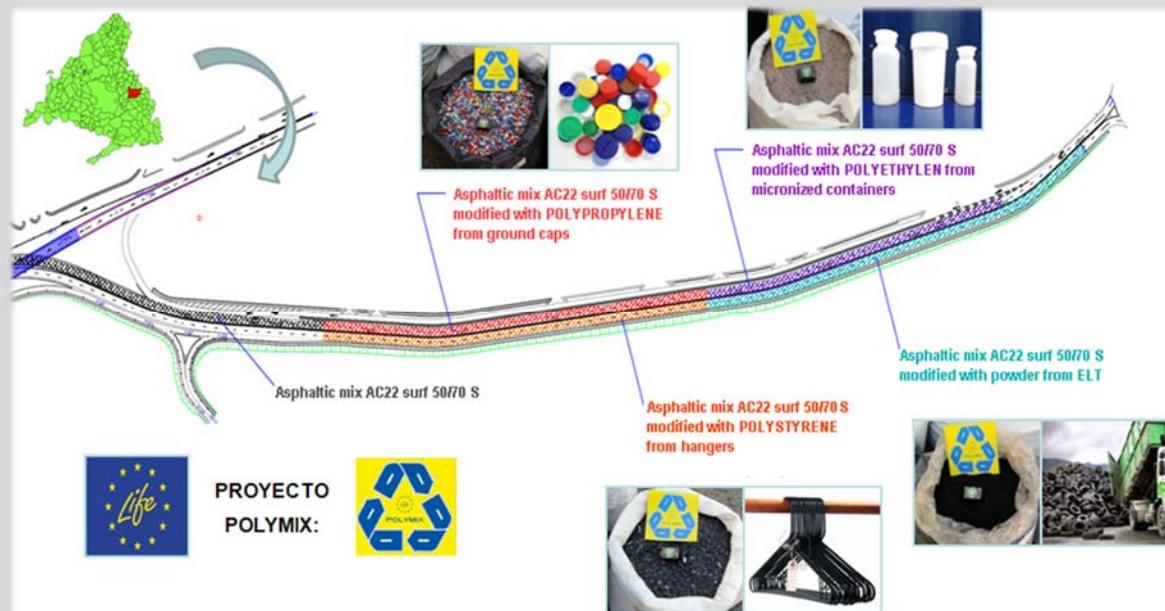
Las mezclas previamente diseñadas se caracterizaron en el laboratorio para analizar en detalle la influencia del tipo de residuo plástico en la mezcla asfáltica. Se evaluaron la rigidez y modulo dinámico, resistencia a la fatiga, resistencia al deslizamiento y adherencia estática entre capas.



Laboratorio de Carreteras (UNICAN)

## Validación técnica

Con el objetivo de demostrar la viabilidad técnica de la tecnología, se implementaron las 4 mezclas POLYMIX en una carretera real y se llevó a cabo la monitorización de dichos tramos durante 18 meses. Los cuatro tramos experimentales se construyeron en el acceso por la M-300 a Alcalá de Henares, en Madrid.



Tramo experimental en el acceso de la M-300 a Alcalá de Henares, en Madrid



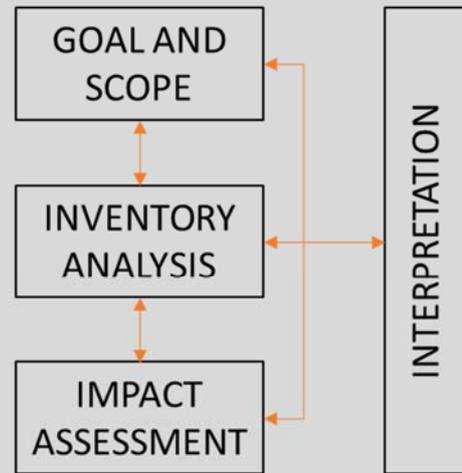
Perfilómetro laser (arriba); SCRIM (abajo)

Durante la monitorización de los tramos experimentales, se determinó la evolución de las siguientes propiedades superficiales: macrotextura, resistencia al deslizamiento y regularidad, con ayuda del equipo de medida de rozamiento transversal (SCRIM) y un perfilómetro laser. Además, se extrajeron testigos cilíndricos de la capa de rodadura para determinar el contenido de betún, polímero y áridos, junto con la capacidad estructural de la carretera. Así mismo, se realizaron controles visuales para detectar daños en la superficie del pavimento consecuencia de las cargas del tráfico y del clima.

## Validación económica y medioambiental

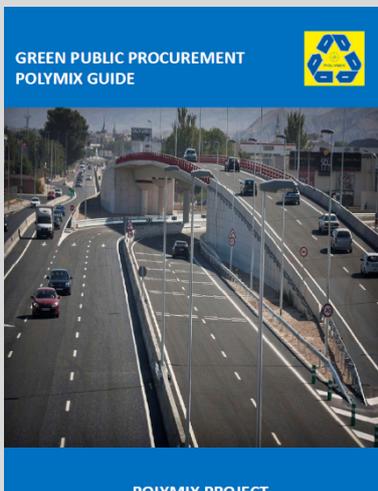
La evaluación ambiental de la tecnología POLYMIX se realizó a través de una Evaluación de Ciclo de Vida siguiendo la metodología recomendada por la norma internacional ISO 14040-43. El impacto ambiental de las mezclas POLYMIX se compara con el impacto causado por mezclas convencionales (que no incluyen residuo polimérico).

Por otra parte, se evaluó la viabilidad económica de las mezclas modificadas considerando el coste de las nuevas mezclas, el proceso de producción y los beneficios derivados del uso de las nuevas mezclas. Con este fin, se utilizó el software Alizé LCPC.



ISO 14040. Análisis del ciclo de vida

## Pasos para la futura reproducción de la tecnología POLYMIX



Guía POLYMIX sobre CPV

Con el objetivo de fomentar el uso de mezclas asfálticas medioambientalmente más favorables, se ha desarrollado una metodología para la incorporación de criterios y requisitos medioambientales en los procesos de contratación pública verde (CPV). Aunque esta metodología se ha desarrollado sobre la base del escenario en España, se analizó su posible adaptación en el contexto Europeo. La guía "Contratación Pública Verde. Guía POLYMIX" está disponible en el sitio web del proyecto.

Con el fin de dar una idea clara del potencial de la tecnología en cuanto a su posible reproducción o aplicación comercial, se llevó a cabo un análisis DAFO con el que se identificaron las principales amenazas y fortalezas de la tecnología.

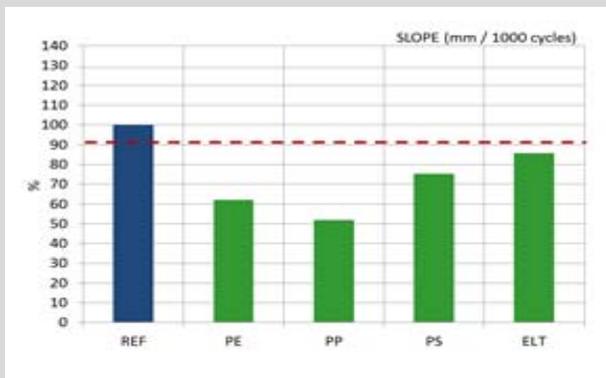
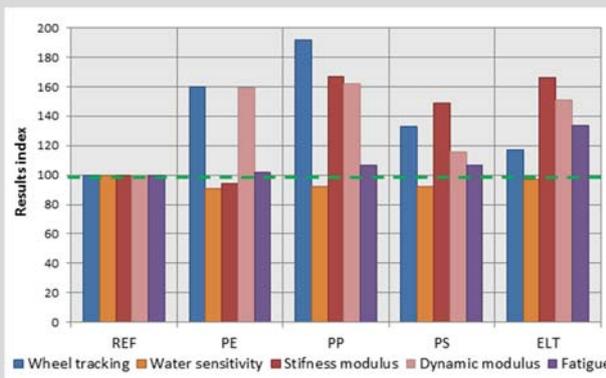
# RESULTADOS

## Diseño y caracterización de las mezclas PCLYMIX

De acuerdo con los resultados obtenidos durante el diseño y caracterización de las nuevas mezclas, se concluyó que todas ellas cumplían los requisitos técnicos actualmente establecidos en la normativa española para su uso en la construcción de carreteras tanto como de capa de rodadura como de capa base.

Según las muestras estudiadas, las muestras de residuos poliméricos más adecuadas para su uso en mezclas asfálticas son: polietileno procedente de envases, polipropileno procedente de tapones y poliestireno procedente de perchas. Además, se encontró que el porcentaje óptimo es del 1%.

Además, y en comparación con la mezcla de referencia, las mezclas diseñadas que incorporaban residuo polimérico presentaban, en todos los casos, mayor resistencia a la deformación plástica (rodadura), así como un módulo dinámico más alto sin perjudicar su resistencia a fatiga.



Resultados de la caracterización mecánica (up)  
Resultados del ensayo de pista (abaio)



Caucho procedente de NFUs



PP de tapones



PE de envases



PS de perchas

## Validación técnica, económica y medioambiental

El principal resultado obtenido durante la monitorización del tramo experimental fue la confirmación, de acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio, de la mayor resistencia de las mezclas POLYMIX a la formación de roderas.



Por otra parte, durante la monitorización del tramo también se determinó la evolución de propiedades superficiales del pavimento tales como resistencia al deslizamiento, regularidad superficial y macrotextura. En general no se observaron diferencias significativas entre las mezclas. Todas ellas, incluyendo la de referencia tuvieron un comportamiento similar, por lo que se concluye que tales variaciones no dependen de la adición del residuo plástico a la mezcla.

Aparte de la validación técnica, la viabilidad económica fue verificada analizando los costes de construcción de las nuevas mezclas y comparando estos costes con los de las mezclas convencionales. Se encontró que las mezclas POLYMIX resultan más caras que las convencionales debido al mayor coste del residuo polimérico en comparación con los áridos naturales. Sin embargo, debido a la mejora de las propiedades de las mezclas POLYMIX, se estudió la posibilidad de reducir el grosor de la capa de asfalto con el software Alizé LCPC. Las mezclas modificadas con polipropileno o caucho resultaron más eficientes desde el punto de vista económico.



Extendido de las mezclas



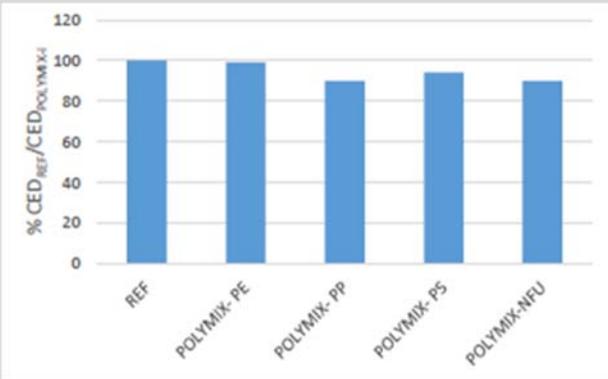
Compactación



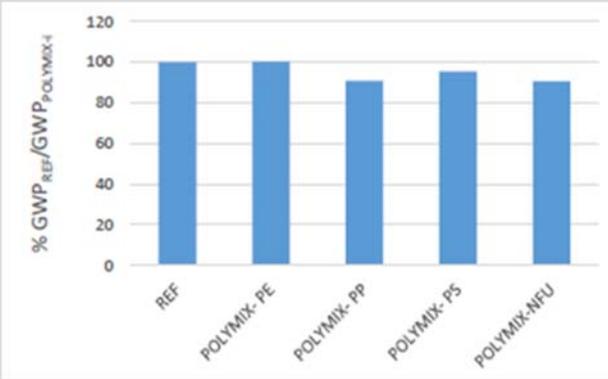
Extracción de testigos

Finalmente, se evaluó el potencial impacto ambiental de la tecnología POLYMIX. Esta evaluación se realizó mediante un análisis de ciclo de vida siguiendo la metodología recomendada por la norma internacional ISO 14040-43. En este estudio se tuvieron en cuenta todos los valores de entrada y de salida de cada uno de los procesos individuales que tienen lugar en la producción e implementación in situ de cada tipo de mezcla asfáltica.

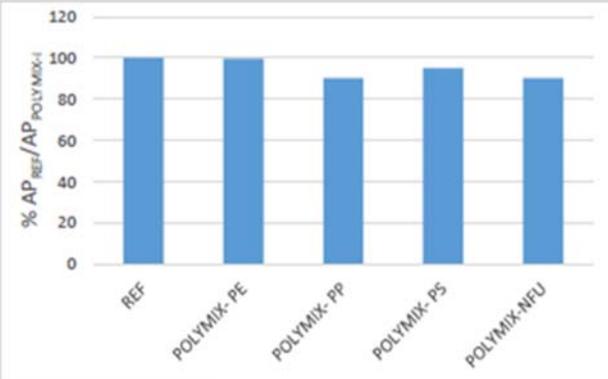
La comparación del impacto ambiental de las diferentes mezclas desarrolladas (referencia y POLYMIX) muestra que, en las cuatro categorías analizadas, las mezclas POLYMIX presentan un menor impacto medioambiental. Por lo tanto, el reciclaje y uso de residuos poliméricos en mezclas bituminosas no solo no aumenta el impacto ambiental del producto final, si no que en algunos casos, incluso lo reduce.



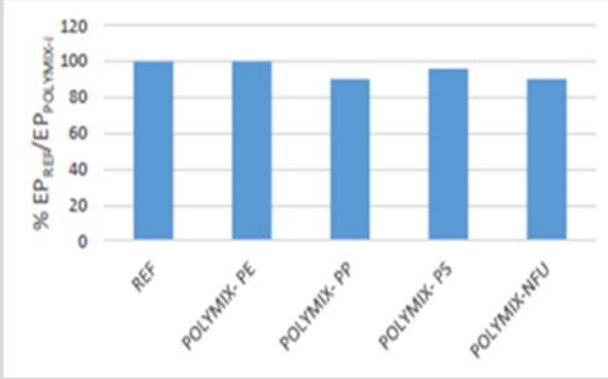
Demanda de Energía Acumulada



Potencial de Calentamiento Global



Potencial de Acidificación



Potencial de Eutrofización

## BENEFICIOS A LARGO PLAZO

El aumento progresivo del tráfico pesado y de las condiciones climáticas extremas debido al cambio climático aumenta la necesidad de inversiones en mantenimiento en todos los estados miembros. El empleo de materiales convencionales en carreteras de alto rendimiento resulta poco eficiente desde el punto de vista económico.

Uno de los principales rasgos de POLYMIX, que es común para todos los tipos de polímero usados en el proyecto, es la mayor resistencia a la deformación plástica (resistencia a la formación de roderas), en comparación con la referencia. Esta característica hace que esta tecnología sea especialmente apropiada cuando se combinan temperaturas extremas y tráfico elevado. El uso de esta tecnología conllevará menores costes de mantenimiento y por lo tanto supondrá un ahorro en la gestión de la infraestructura por parte de la administración pública.

Por otra parte, y de acuerdo con los resultados de la monitorización, de los cuatro polímeros estudiados, el poliestireno es el único que se disuelve en el betún, aumentando el contenido total de betún en la mezcla. La posibilidad de reducir la cantidad de betún virgen cuando se añade poliestireno a la mezcla debe ser analizada. Si esto se confirmase, el coste de la mezcla POLYMIX-PS (incorpora poliestireno) se reduciría significativamente.



Tramo experimental POLYMIX

Por otra parte, el aumento de la reutilización o reciclado de los residuos plásticos ha supuesto los siguientes beneficios medioambientales:

### - Reciclado de residuos

En la construcción de un km de carretera se fabrican, extienden y compactan alrededor de 1300tn de mezcla asfáltica (rodadura) y se pueden reutilizar aproximadamente unos 10tn de plástico reciclado.

El aumento de la demanda de plástico reciclado fomentará el desarrollo de sistemas de recogida selectiva y pretratamiento que proporcionen un suministro estable del material. Hay que tener en cuenta que sin una demanda estable, la inversión para mejorar los sistemas actuales se ve reducida. Nuevas alternativas de reutilización del material reciclado aumenta la demanda y el crecimiento del interés empresarial.

### - Ahorro de recursos

El volumen de residuo polimérico utilizado en cada mezcla reemplaza el mismo volumen de árido natural. Se consumirán unas 30tn menos de árido natural durante la construcción de 1km de carretera.

### - Reducción de emisiones

El aprovechamiento de plástico reciclado (PS, PE, PP y caucho) implica una reducción de este material que acaba en el vertedero o se quema en una planta incineradora.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> relativas a la eliminación de plásticos en vertedero son alrededor de 253 g/Kg plástico. Si el plástico es incinerado, las emisiones de CO<sub>2</sub> varían entre 673g/Kg y 4605g/Kg en función de la eficiencia y la fuente de electricidad y calor que la incineración de plástico está reemplazando<sup>1</sup>.



<sup>1</sup> Plastic waste as a fuel – CO<sub>2</sub>-neutral or not?  
<http://www.ecolateral.org/plasticasafueirschem0709.pdf>

## CONTRIBUCIÓN A LA POLÍTICA EUROPEA

La tecnología POLYMIX contribuirá al cumplimiento de varias normas sobre el tratamiento de residuos poliméricos a nivel europeo, nacional y regional. La propuesta de nuevas alternativas para la reutilización de plásticos reciclados ayudará a los estados miembros a cumplir la siguiente normativa:

- Directiva CE relativa al vertido de residuos (1999/31/EC): Esta directiva no se centra en los residuos poliméricos pero si establece los objetivos para la diversificación de los residuos municipales biodegradables. Además, esta directiva prohíbe el vertido de neumáticos en vertederos, ya sea enteros o triturados.
- Directiva CE de envases y sus residuos (2004/12/EC): Esta directiva trata sobre los residuos plásticos de envases, entre otras cosas, y obliga a los estados miembros a recuperar por lo menos entre el 50 y 60% y reciclar por al menos del 25 al 40% de todos los envases vendidos.
- Directiva marco relativa a los residuos (2008/98/EC): esta normativa obliga a los países a adoptar las medidas necesarias para reutilizar o reciclar por lo menos el 50% del plástico, papel, metal o cristal provenientes de los desechos domésticos en 2020.
- La directiva EC sobre los vertederos de residuos (1999/31/EC) puso una prohibición al desecho de neumáticos enteros en 2003 y triturados en 2006.
- La directiva CE sobre vehículos fuera de uso (2000/53/CE): no se refiere directamente a la obligación del reciclaje de plásticos. Sin embargo, esta directiva define un plan global para reciclar y reutilizar el 80% en 2006 y 95% de los residuos procedentes de vehículos fuera de uso en 2015.

Además, POLYMIX está en línea con los objetivos ambientales europeos establecidos por la estrategia Europa 2020 en relación con el crecimiento sostenible:

- Construir una economía competitiva con bajas emisiones de carbón que haga un uso eficiente y sostenible de los recursos.
- Proteger el medioambiente y reducir las emisiones.
- Capitalizar el liderazgo de Europa en el desarrollo de nuevas tecnologías y métodos de producción más ecológicos.

La reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> junto con la disminución del consumo de recursos naturales, son beneficios del proyecto también en concordancia con los objetivos de la iniciativa para una Europa eficiente en el uso de los recursos que apoya la transición a una economía eficiente y baja en carbono para conseguir un crecimiento sostenible.