

# CONAMA 2020

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

## Ejemplos prácticos de modelos de economía circular aplicados en construcción: experiencia de ACCIONA





**Autor Principal:** Edith Guedella Bustamante (Centro Tecnológico Construcción. ACCIONA)

**Otros autores:** Ignacio Calvo Herrera (Centro Tecnológico Construcción. ACCIONA); Stefano Primi (Centro Tecnológico Construcción. ACCIONA); Blanca Juez Sánchez (Centro Tecnológico Construcción, ACCIONA); Raquel Casado Barrasa (Centro Tecnológico Construcción ACCIONA); Eva Martínez Barrigüete (Centro Tecnológico Construcción ACCIONA)

## ÍNDICE

### Contenido

ÍNDICE.....	1
1. TÍTULO.....	2
2. PALABRAS CLAVE .....	2
3. resumen .....	2
4. introducción .....	2
5. metodología .....	5
6. RESULTADOS .....	6
6.1. Modelo de simbiosis industrial en la cadena de valor extendida de la construcción.....	6
6.2. Ecodiseño de infraestructuras en materiales compuestos .....	9
6.3. Aplicación de estrategias de simbiosis industrial en carreteras .....	13
6.3.1. Tratamiento de terreno.....	13
6.3.2. Firms .....	17
7. Discusión .....	21
8. Conclusiones .....	22
9. Menciones.....	22
10.Referencias.....	23

### 1. TÍTULO

El título de la presente comunicación es *Modelos prácticos de economía circular aplicados en construcción: experiencia de ACCIONA*

### 2. PALABRAS CLAVE

Economía circular; ecodiseño; materias primas secundarias; simbiosis industrial; construcción; ACCIONA; FISSAC; PAPERCHAIN; APSE; faro valencia; impermeabilización túneles Pajares.

### 3. RESUMEN

La economía circular es un concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad, y cuyo objetivo es que el valor de los productos, los materiales y los recursos (agua, energía y materias primas, principalmente) se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible, y que se reduzca al mínimo la generación de residuos. Se trata de implementar una nueva economía, circular -no lineal-, basada en el principio de «cerrar el ciclo de vida» de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía. Este concepto aplicado en el sector de la construcción, uno de los principales consumidores de materias primas en Europa, supone un cambio en la forma de trabajar, desde el diseño hasta el fin de vida de la infraestructura.

En este contexto, la economía circular representa una oportunidad sin precedentes para cambiar nuestro modelo de producción y consumo desde la revolución industrial, así como para impactar significativamente en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los objetivos marcados en el Acuerdo de París (Naciones Unidas, 2015).

La presente comunicación pretende mostrar distintas experiencias realizadas por ACCIONA relativas a ejemplos de modelos de economía circular aplicados en construcción, incluyendo ejemplos de distintas aproximaciones, desde la perspectiva del ecodiseño hasta el reaprovechamiento de materias primas secundarias y la simbiosis industrial.

### 4. INTRODUCCIÓN

La Economía Circular supone un pilar fundamental necesario para la optimización del empleo de recursos y el incremento de su productividad (tal y como se recoge en la estrategia española de Economía Circular (Miteco, 2020) como en el Plan de Acción de Economía Circular Europeo [Comisión Europea, 2020]). Por ello requiere una inversión para conseguir que sus principios puedan ser adquiridos en los distintos ámbitos de la sociedad (público general, administraciones, empresas privadas, desarrolladores de tecnologías, etc.). A pesar de que la economía de Europa ha evidenciado mejoras continuas en la productividad de los recursos, ésta sigue siendo infradimensionada como vía para mejorar la competitividad de la industria europea. Así lo demuestran las nuevas pruebas de que la implementación de la economía circular, tanto en la producción, como en el sector de la valorización de residuos, que podría

umentar la productividad de los recursos hasta en un 3% anual (Transparency Market Research, 2018).

Dos estrategias fundamentales para materializar la Economía Circular son:

1. **Ecodiseño:** consideración de criterios ambientales durante el diseño y desarrollo de productos y servicios, al mismo nivel en el que son tenidos en cuenta otros criterios relativos a la calidad, legislación, costes, funcionalidad, durabilidad, ergonomía, estética, salud y seguridad, incluyendo la perspectiva del ciclo de vida. Se plantea la incorporación de estrategias de ecodiseño para el fomento de productos constructivos más sostenibles
2. **Simbiosis industrial:** el concepto hace referencia al uso por parte de una compañía o sector de los recursos infrautilizados de otro (incluyendo residuos, subproductos, energía, agua, logística, capacidad, experiencia, equipamiento y materiales), con el fin de mantener su empleo en uso productivo lo máximo posible (CEN, 2018). Su objetivo es el establecimiento de relaciones entre actores industriales para la optimización de recursos y la conversión de residuos en materias primas secundarias.

El sector de la construcción es un gran consumidor de recursos y absorbe alrededor del 50 % de todos los materiales extraídos en la UE (COM/2020/98 final). El hecho de incorporar estrategias de circularidad puede reducir por un lado el consumo de estos recursos, reducir la huella ambiental asociada a este consumo y promover la movilización de nuevos modelos de negocio que requieren incorporación de tecnología para el tratamiento de residuos, digitalización para evaluación de la trazabilidad, etc.

El sector transportes es uno de los mayores consumidores de energía y materias primas, y uno de los principales emisores de gases de efecto invernadero (EPA, 2017; EIA, 2017). Desde las instituciones europeas y los gobiernos de diferentes estados miembros, se están promoviendo iniciativas, directivas y políticas para cambiar este hecho y se están potenciando tanto iniciativas para la implantación del vehículo eléctrico, como estrategias para promover el desarrollo sostenible y la transición hacia un modelo de economía circular.

Estrategias como la EU 2020 para crecimiento inteligente, sostenible e integrador (COM/2010/2020 final), el Plan de Acción para una economía circular en Europa (COM(2020) 98 final) o la Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos (COM(2011) 21 [11]), son ejemplos claros que explican el enfoque integral que persigue la UE para la eficiencia de los recursos, desmarcándose de la economía lineal (donde se extraen los materiales de la tierra para fabricar los productos, usarlos y luego eliminarlos), y orientando a Europa hacia una economía circular, donde los residuos y los subproductos, del final de vida de los productos usados, entran de nuevo en el ciclo de producción como materias primas secundarias (Ellen McArthur Foundation, 2013).

El desarrollo de tecnologías innovadoras para la incorporación de residuos, materiales reciclados y de origen renovable en el ciclo de producción de los materiales de construcción, la integración de energías renovables en infraestructuras o la implantación de medidas de eficiencia energética y resiliencia, son estrategias totalmente alineadas con las políticas anteriores y mejorarían tanto la sostenibilidad y la rentabilidad económica de las infraestructuras, reduciendo el impacto ambiental y los costes asociados a la construcción, mantenimiento y rehabilitación, a la eliminación de residuos y a la producción de energía.

## EJEMPLOS PRÁCTICOS DE MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR APLICADOS EN CONSTRUCCIÓN: EXPERIENCIA DE ACCIONA

El concepto de Economía Circular que más se aproxima a la perspectiva de infraestructuras se basa en el principio de reducción del volumen de desechos inaprovechables a través de la mejora del diseño de productos y procesos que permita alargar la vida útil de los materiales.

Este concepto ha cobrado especial relevancia en los últimos años como consecuencia de la insostenibilidad del sistema actual de producción y consumo, basado en la compra, utilización y posterior desecho de productos. Este sistema recibe el nombre de Economía Lineal.

Actualmente en el sector de la construcción existen muy pocos casos específicos donde se hayan desarrollado modelos holísticos de economía circular, pero sí se han realizado multitud de proyectos y estudios para identificar residuos y sub-productos adecuados para fines constructivos. El Catálogo de Residuos Utilizables en Construcción publicado como monografía por el Ministerio de Medio Ambiente en colaboración con el CEDEX el año 2002 y actualizado en 2007 (CEDEX, 2007) reúne los más significativos, referencias a normativa nacional o internacional (si la hubiere), y los resultados registrados hasta la fecha y en la página web del CEDEX se encuentran las actualizaciones de los distintos residuos evaluados.

Administraciones públicas, empresas constructoras, centros de investigación y universidades han evaluado y validado la aplicación de residuos para aplicaciones en obra civil a diferentes escalas (ya sea vía estudios a nivel de laboratorio o a través de estudios a escala real o tramos experimentales o incluso de manera industrial en licitaciones a gran escala), por tanto las actuaciones registradas, han demostrado la validez del sector de la construcción como consumidor de materias primas secundarias, y potencial promotor de modelos de economía circular exitosos.

ACCIONA es una de las principales empresas españolas del IBEX 35 y tiene presencia en más de 40 países. Se presenta como una compañía experta en diseñar un planeta mejor, ofreciendo respuestas a necesidades de infraestructuras básicas, agua y energía mediante soluciones innovadoras, responsables y generadoras de progreso real. ACCIONA cuenta con cerca de cuarenta mil profesionales, que han logrado una producción de 7.191 millones de euros en 2019 con un resultado bruto de explotación de 1.356 millones de euros. ACCIONA desarrolla soluciones que permiten afrontar los desafíos globales de manera integral. Su modelo de negocio tiene un enfoque SMART - basado en la sostenibilidad, mitigación, adaptación, resiliencia y transformación. Las infraestructuras SMART están facilitando la transición a una economía baja en carbono y contribuyendo a resolver algunos de los retos más complejos para la humanidad, tales como la provisión de energía limpia, necesidad de transporte eficiente y bajo en emisiones, escasez de agua, derecho a vivienda digna, déficit de infraestructura social o gestión de residuos. ACCIONA posee unas competencias únicas para desarrollarse en este ámbito. Con una inversión de 1.200 millones de euros en 2019 en este tipo de infraestructuras, la compañía demuestra la solidez de su estrategia basada en la sostenibilidad. Este esfuerzo inversor ha permitido alcanzar los 10 GW de capacidad instalada renovable y una cartera EPC de 8.000 millones de euros (ACCIONA, 2019). En dichas infraestructuras, se prioriza la integración de una visión holística del concepto de economía circular, considerando sus principios desde la etapa del diseño hasta la etapa de fin de vida.

## 5. METODOLOGÍA

La metodología empleada se basa en la revisión de conceptos de economía circular aplicados a construcción, como la que se menciona en (Adams *et al*, 2017) y se indica en las siguientes tablas (Tablas 1 y 2), y en el apartado de resultados se muestran ejemplos prácticos de modelos adaptados a diferentes soluciones constructivas:

Tabla 1: Principios relativos a economía circular considerados en el sector de la construcción (Tomado de Adams *et al.*, 2017)

Principio
Incrementar la productividad de materiales haciendo más con menos
Eliminar residuos definiendo materiales como nutrientes biológicos o materias primas secundarias, permitiendo crear ciclos cerrados de materiales
Incrementar el valor ambiental y económico de los materiales
Pensar en sistemas estudiando los flujos de materiales y energía en sistemas industriales, comprendiendo los nexos de unión y la influencia de cada parámetro en el resto de parámetros, así como sus consecuencias, permitiendo el cierre de procesos donde los residuos son considerados un <i>input</i>

(Tomado de Adams *et al.*, 2017)

Tabla 2: Aspectos relativos a la economía circular a lo largo del ciclo de vida de un proyecto constructivo

Etapa del ciclo de vida	Aspecto relativo a economía circular
Diseño	Diseño de flujos Diseño adaptable y flexible Diseño sin residuos Diseño modular Empleo de materiales recuperados Empleo de materiales reciclados
Fabricación y suministro	Principios de ecodiseño Empleo de menos materiales/optimización del uso de materiales Empleo de menor cantidad de material peligroso Aumento de durabilidad Diseño para desensamblado Diseño para estandarización de producto Empleo de materias primas secundarias Esquemas de devolución Logística inversa
Construcción	Minimizar la generación de residuos Reutilización de materiales Empleo de materiales reciclados Construcción <i>off-site</i>
Uso y mantenimiento	Minimización de generación de residuos Minimización de mantenimiento Facilidad de reparación y reforma Adaptabilidad

	Flexibilidad
Fin de vida	Deconstrucción Demolición selectiva Reaprovechamiento de productos y componentes Reciclado <i>Close-Loop</i> Reciclado <i>Open-Loop</i>

(Tomado de Adams *et al.*, 2017)

En relación a las tablas anteriormente descritas, la presente comunicación trata distintos ejemplos de modelos de economía circular realizados en ACCIONA relativos a estrategias de simbiosis industrial para la incorporación de materias primas secundarias como material constructivo, a estrategias de diseño modular, con una ampliación de vida útil y minimización de mantenimiento y al empleo de nuevos materiales que permiten aumentar la durabilidad de las infraestructuras y el empleo de materiales con círculos cerrados de reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCDs).

## 6. RESULTADOS

A continuación, se muestran los distintos modelos de economía circular aplicados en construcción realizados por ACCIONA en diferentes ámbitos como son:

Modelo de simbiosis industrial en la cadena de valor extendida de la construcción

Ecodiseño de infraestructuras en materiales compuestos

Faro en Materiales Compuestos

Placas de impermeabilización Túnel de Pajares

Aplicación de estrategias de simbiosis industrial en carreteras

Tratamiento de terreno

Firmes

### 6.1. Modelo de simbiosis industrial en la cadena de valor extendida de la construcción

Las industrias europeas intensivas en recursos como el cemento, la cerámica, la química, los minerales, los metales ferrosos y no ferrosos, , la ingeniería y la construcción, que generan más de 1.600 billones de euros de facturación y tienen más de 6,8 millones de empleados (Maestri Project, 2015-2019), tienen una alta dependencia de los recursos, de los cuales entre 20 - El 30 % de ellos ahora son importados. En 2019, el valor del comercio total (importación más exportaciones) de materias primas entre la UE-27 y el resto del mundo fue de 135 000 millones EUR. Dado que las exportaciones (54 000 millones EUR) fueron inferiores a las importaciones (81 000 millones EUR), hubo un déficit comercial de 27 000 millones EUR (Eurostat, 2020). Por tanto, existe un interés claro y urgente por mejorarla sostenibilidad y la competitividad, que desvincule el bienestar humano del consumo de recursos como eje de la transición hacia una Economía Verde.

Cada año la Unión Europea (UE) genera aproximadamente 2.700 millones de toneladas de residuos solo en la cadena de valor de los materiales, de los cuales 98 millones de toneladas son

## EJEMPLOS PRÁCTICOS DE MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR APLICADOS EN CONSTRUCCIÓN: EXPERIENCIA DE ACCIONA

peligrosos (COM/2011/0571 final). La reducción de la cantidad de residuos generados es uno de los objetivos principales de la UE, así como promover el uso de los residuos como recursos logrando niveles más elevados de reciclaje.

La utilización de diferentes residuos industriales en aplicaciones constructivas, ha sido el motivo de numerosos proyectos de investigación desarrollados en ACCIONA. Basado en estas experiencias previas, desde ACCIONA se impulsó un proyecto de promoción de la simbiosis industrial para una industria sostenible de recursos intensivos a lo largo de la cadena de valor de la construcción: el proyecto FISSAC (acrónimo de sus siglas en inglés, *Fostering Industrial Symbiosis for a Sustainable Resource Intensive Industry across the extended Construction Value Chain* <http://fissacproject.eu/en/>). El proyecto FISSAC finalizó en febrero de 2020 y estaba coordinado por ACCIONA Construcción. El consorcio estaba compuesto por 27 socios de 9 países (8 Estados miembros de la UE y Turquía).

La simbiosis industrial es una forma de intermediación para reunir a las empresas en colaboraciones innovadoras, encontrando maneras de usar los residuos de uno como materia prima para otro. La palabra «simbiosis» suele asociarse con relaciones en la naturaleza, donde dos o más especies intercambian materiales, energía o información de una manera mutuamente beneficiosa.

Una cooperación local o más amplia en simbiosis industrial puede reducir la necesidad de materias primas vírgenes y el depósito de residuos, cerrando así el circuito del material, una característica fundamental de la economía circular y un motor para el crecimiento verde y soluciones eco-innovadoras. También puede reducir las emisiones y el uso de energía y crear nuevos flujos de ingresos.

En la actualidad, Europa cuenta con algunas redes de apoyo para la simbiosis industrial en la UE y asociaciones europeas de innovación, como programas nacionales (por ejemplo, NISP (Reino Unido)), iniciativas regionales (por ejemplo, Cleantech Östergötland (Suecia)) e iniciativas locales (por ejemplo, Kalundborg en Dinamarca) (Bonnet, 2016). Sin embargo, para hacer que la simbiosis industrial sea una realidad comercial extendida, es necesario hacer más para gestionar el flujo de materiales de desecho de diferentes sectores e industrias, y aún queda mucho por entender sobre:

- impactos ambientales y sociales
- armonización de tecnologías, procesos, políticas
- compromiso de la sociedad civil con una economía circular a nivel de la UE
- información sobre recursos de residuos
- tecnologías de tratamiento de residuos
- modelos de negocio y coordinación entre actores de la cadena de valor.

El proyecto FISSAC ha trabajado involucrando a agentes interesados en todos los niveles de la cadena de valor de las industrias intensivas, construcción y demolición. El objetivo ha sido entender los aspectos y construir un modelo y sistemas de apoyo que se esfuercen por superar los desafíos. La metodología y una plataforma software facilitan el intercambio de información, fomentan la creación de redes de simbiosis industrial y que repliquen esquemas piloto a nivel local y regional.

El objetivo principal del proyecto FISSAC era desarrollar y demostrar un nuevo paradigma basado en un modelo de simbiosis industrial innovador hacia un enfoque de residuos cero en las industrias intensivas en recursos de la cadena de valor de la construcción (acero, aluminio,

## EJEMPLOS PRÁCTICOS DE MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR APLICADOS EN CONSTRUCCIÓN: EXPERIENCIA DE ACCIONA

pedra natural, química y sectores de demolición y construcción). El proyecto aborda requisitos tecnológicos y no tecnológicos, que conduzcan a procesos de ciclo cerrado en materiales y avanzar hacia una economía circular.

Para hacer frente a posibles barreras tecnológicas, FISSAC ha demostrado la aplicabilidad del nuevo modelo de simbiosis industrial, así como la eficacia de los procesos, servicios y productos innovadores a diferentes niveles:

A. Procesos de fabricación:

- Demostración de procesos de reciclaje de ciclo cerrado para transformar los desechos en valiosas materias primas secundarias aceptables
- Demostración de los procesos de fabricación de los nuevos productos a escala industrial

B. Validación del producto:

- Demostración del ecodiseño de los materiales constructivos en procesos preindustriales bajo un enfoque de análisis de ciclo de vida.
- Demostración a escala real en diferentes casos de estudio de la aplicación y desempeño técnico de productos de construcción eco-innovadores

C. Modelo FISSAC:

- Demostración de la plataforma de software
- Evaluación de la replicabilidad del modelo a través del concepto de living lab

Para ACCIONA, el escenario de demostraciones FISSAC constituye un marco de referencia para analizar las redes de simbiosis y la replicación del modelo. Las demostraciones consisten en la implementación de los nuevos productos de construcción basados en materias primas secundarias purificadas cuya actividad se ha centrado principalmente en la producción a escala pre-industrial y posteriormente escala real de los siguientes productos: ecocemento y hormigón verde, baldosas y pavimentos cerámicos innovadores y composites en madera-plástico.

Los nuevos productos se probaron en cinco casos de estudio diferentes teniendo en cuenta toda la cadena de suministro de la simbiosis industrial. Los nuevos productos FISSAC fueron fabricados a escala preindustrial e industrial para validar los procesos de reciclaje y sentar las bases para la validación a escala real. Finalmente, se llevó a cabo la implementación de las nuevas soluciones a través de cinco casos de estudio diferentes considerando toda la cadena de suministro de la simbiosis industrial: los procesos de fabricación, el desempeño técnico de los nuevos productos y su implementación a escala real en aplicaciones de construcción.

Los diferentes casos de estudio realizados fueron:

- Caso de estudio 1: Pavimento de hormigón en una carretera en Adana (Turquía).
- Caso de estudio 2: Bloques de hormigón celular en autoclave en un edificio de Izmir (Turquía).
- Caso de estudio 3: Instalación a escala real de elementos prefabricados de hormigón verde de alta densidad en un pavimento peatonal en Madrid (España)
- Caso de estudio 4: Instalación innovadora de cerámicas innovadores (revestimiento de pared y pavimento porcelánico) a escala real en Madrid.
- Caso de estudio 5: Instalación a escala real de composites de madera y plástico (caucho) en Madrid y Reino Unido.



**Figura 1.** Diferentes demostradores de las tecnologías de FISSAC

La experiencia adquirida durante los casos reales ha permitido identificar y describir los puntos fuertes y débiles del modelo FISSAC, con el fin de poder mejorarlo, cuando fuera necesario. Los resultados de la validación proporcionan el marco para la aplicación posterior del modelo, fuera del proyecto FISSAC.

También se ha evaluado la replicabilidad de las oportunidades de simbiosis industrial investigadas dentro del proyecto, se examinaron los estudios de caso llevados a cabo. En general, se puede afirmar que la replicabilidad de las oportunidades de simbiosis industrial investigadas dentro del proyecto es alta. Las propiedades químicas de las materias primas secundarias utilizados en el proyecto son generalmente similares a las de las materias primas vírgenes y las prestaciones técnicas de los productos innovadores son generalmente comparables con el estado de la técnica.

Además, otro resultado final destacable fue el desarrollo de la plataforma de software de simbiosis industrial FISSAC: <http://platform.fissacproject.eu/>. Se agregaron a la plataforma tanto la implementación de indicadores como la visualización de los resultados de los análisis, así como funcionalidades extra. La herramienta tiene la capacidad de utilizar la posición geográfica de las soluciones, por lo tanto, de intercambio de datos con la herramienta de georreferenciación para permitir una capacidad de evaluación de SI a gran escala.

Cabe destacar también la participación en el documento CWA 17354 (CEN, 2018) cuyo contenido ha representado un valioso aporte para algunas tareas del proyecto FISSAC.

## 6.2. Ecodiseño de infraestructuras en materiales compuestos

### 6.2.1. Faro en Materiales Compuestos

## EJEMPLOS PRÁCTICOS DE MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR APLICADOS EN CONSTRUCCIÓN: EXPERIENCIA DE ACCIONA

La necesidad de buscar una estructura constructiva resistente a condicionantes ambientales extremos, como los costeros, y con un menor mantenimiento, llevó a la generación de un faro en materiales compuestos. Este caso se ha considerado como un ejemplo en economía circular por la integración de los principios relativos a diseño modular, adaptado y flexible, con principios de ecodiseño, pensado para su desensamblaje, con mayor durabilidad y disminuyendo su mantenimiento.

Las construcciones costeras presentan graves problemas de corrosión a lo largo de su vida útil, por la combinación de factores como la humedad, ambiente salino, y radiación ultravioleta, que además de deteriorar la fachada, generar grietas, reducen las propiedades de resistencia mecánica y química que caracteriza a los materiales, acortando el tiempo de vida útil y haciendo necesarias tareas de mantenimiento y reparaciones más frecuentes y costosas.

Los materiales compuestos son conocidos por su buena resistencia mecánica y química, durabilidad y rigidez, además de flexibilidad en el diseño por ser materiales ligeros, lo que los hace los sustitutos idóneos de los materiales convencionales (hormigón, metales, etc.).

El objetivo del proyecto consistió en el desarrollo e implantación de un faro construido íntegramente con material compuesto en el puerto de Valencia. La estructura de 32m de altura se compone de 7 variedades de piezas cuyas configuraciones se definieron en función de las necesidades de la aplicación final, los requerimientos específicos del cliente y la normativa vigente aplicable (CTE RD 1675/2008, RD 997/2002, etc.). La complejidad del proyecto reside en la combinación de materiales y técnicas de fabricación de última generación (pultrusión, RTM, infusión), que permitieron alcanzar las mejores propiedades del composite para obtener un faro marítimo sostenible, duradero y de vanguardia. Gracias a la ligereza que presentan estos materiales en comparación con los tradicionales, la duración de la instalación de este faro, duró tan solo 2 horas.

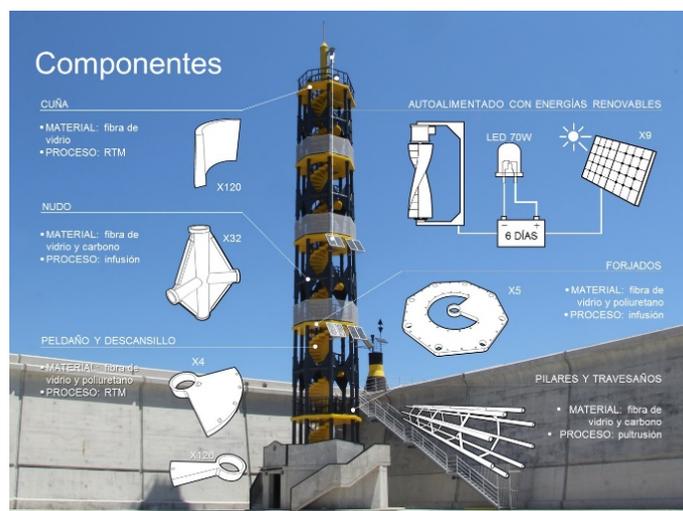
La estructura de cinco plantas, con un peso de 19 toneladas, está formada por ocho columnas circulares huecas de polímero reforzado con fibra de carbono (PRFC), fabricadas por pultrusión y posicionadas en los vértices de un octógono. Los 5 forjados son paneles sándwich octogonales de fibra de vidrio y poliuretano fabricados por infusión de resina. En el centro de la estructura, desde su base hasta la parte superior, se ubica una escalera de caracol de PRF. Para incrementar la rigidez lateral de la estructura, entre cada par de forjados consecutivos, sus columnas de PRFC están conectadas en el perímetro de la estructura por medio de tubos horizontales de polímero reforzado con fibra de vidrio (PRFV) formando de esta manera cuatro anillos octogonales.

Se llevó a cabo un control de calidad exhaustivo de todos los elementos estructurales, determinando experimentalmente sus propiedades mecánicas y físico-químicas. Una vez instalado el faro, las vibraciones de la estructura inducidas por el viento se registraron por medio de una serie de acelerómetros colocados estratégicamente para determinar su respuesta dinámica. Previamente, se llevó a cabo una simulación numérica de la estructura para determinar sus frecuencias naturales y formas modales y poder compararlas con las obtenidas de manera experimental. El proyecto recibió el premio JEC Innovación en construcción 2016 (Valencia Port, 2016).

Además, se realizó una evaluación del impacto ambiental de la estructura mediante análisis de ciclo de vida, donde se determinó una reducción de impactos de un 20% con respecto a un faro tradicional.

## EJEMPLOS PRÁCTICOS DE MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR APLICADOS EN CONSTRUCCIÓN: EXPERIENCIA DE ACCIONA

Este proyecto es un claro ejemplo de ecodiseño, principalmente vinculado a la prolongación de la vida útil de una infraestructura, y a la reducción de operaciones de mantenimiento. El hecho de que se fabricase de forma modular, mediante ensamblado de piezas, facilita también su mantenimiento y su desmantelamiento y posterior utilización finalizado el plazo de vida útil teórico de dicha estructura, puesto que funcionalmente la durabilidad es mucho mayor.



**Figura 2.** Estructura del faro en materiales compuestos instalado en el puerto de Valencia. (ACCIONA)

### 6.2.2. Placas de impermeabilización Túnel de Pajares

Los túneles de Pajares, dos túneles ferroviarios para la Línea de Alta Velocidad León-Asturias, de 25 km de longitud, se encuentran entre los túneles más largos de Europa. ACCIONA contribuyó en su construcción y ha sido la adjudicataria de las labores de impermeabilización mediante una aproximación circular basada en el ecodiseño de una solución que permitiese facilidad de instalación y mayor durabilidad en un ambiente agresivo sometido a humedad constante.

La construcción de infraestructuras en terrenos montañosos en ocasiones representa grandes dificultades. Las litologías excavadas en el túnel de Pajares presentan valores de permeabilidad variables entre  $10^{-4}$  y  $10^{-4}$  cm/seg. Esta diferencia de permeabilidad se debe principalmente a la presencia de fracturación y karstificación de los materiales que componen el macizo. De este modo, la fracturación del terreno al paso bajo los valles fluviales ha provocado la conexión hidráulica con el túnel, presentando agua en su interior. Dichas filtraciones de agua pueden llegar a alcanzar los 2.200 litros de agua por segundo al interior del túnel, un caudal capaz de llenar una piscina olímpica cada 20 minutos.

ACCIONA diseñó una solución completa basada en canalizar toda el agua a partir de unas placas de material compuesto hacia unos colectores que la dirijan de forma controlada fuera de las galerías.

Cada anillo de impermeabilización está compuesto por 2 placas de Fibra de Vidrio y 9,4m de longitud, que cubren el perímetro del túnel, y una anchura efectiva de placa 1,5m. El diseño de dicha solución está protegido mediante patente WO 2014072543 A1 (Leno Granada, 2014)

## EJEMPLOS PRÁCTICOS DE MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR APLICADOS EN CONSTRUCCIÓN: EXPERIENCIA DE ACCIONA

Una vez realizado el diseño geométrico que garantiza su capacidad drenante, se llevó a cabo el diseño desde el punto de vista estructural con objeto de cumplir los niveles de sollicitación del panel en condiciones de trabajo. Se realizó la caracterización tanto en condiciones estáticas como dinámicas.

De forma paralela al diseño, se procedió a la optimización de la formulación de la resina que garantizara cumplir con los requerimientos al fuego sin sacrificar impregnación de fibra. Para ello fue necesario utilizar una resina de muy baja viscosidad que permitiera la incorporación de elevada carga retardante a la llama y que a su vez, pudieran ser procesada de forma continua mediante el proceso de fabricación elegido (pultrusión, figura 3).



**Figura 3.** Fabricación de placas de impermeabilización mediante el proceso de pultrusión

Tanto para la optimización de la formulación como para determinar las condiciones de procesado se realizaron los ensayos de análisis térmico: calorimetría diferencial de barrido (DSC) y balanza termogravimétrica (TGA) así como los ensayos de reología correspondientes.

Adicionalmente se completó la caracterización de la microestructura mediante el empleo de microscopía óptica y electrónica (SEM). En paralelo y previo a los ensayos dinámicos se realizaron los ensayos mecánicos estáticos.

Los paneles son de fácil instalación debido a su geometría y su bajo peso, tienen una elevada durabilidad debido a su gran resistencia a la corrosión y cumplen con todos los requisitos de calidad exigidos por normativa en túneles ferroviarios.

Además, se realizó un análisis de ciclo de vida para la evaluación de impactos ambientales comparativo con la solución adicional planteada para esta impermeabilización, consiguiéndose una mejora de los impactos ambientales superior al 30% en comparación con la solución tradicional, con una importante mejora (superior al 70%) en los impactos relativos a GWP según la categoría de impacto CML2001 (EC-JRC-IES, 2010).



**Figura 4.** Tramo de túnel impermeabilizado

### 6.3. Aplicación de estrategias de simbiosis industrial en carreteras

#### 6.3.1. Tratamiento de terreno

Europa es el segundo productor de pulpa y pasta de papel fabricando más de 150 millones de toneladas al año, aportando la industria generadora y transformadora 19 billones de Euros al producto interior bruto de la Unión Europea (CEPI, 2017). Este sector genera 11 millones de toneladas de residuos cada año, de las cuales solo el 10% son explotados por otras industrias como productos de valor añadido (Deviatkin *et al.*, 2015).

ACCIONA dentro del marco del proyecto europeo de investigación y como organismo coordinador del mismo: “PAPERCHAIN: New Niche Markets for the Pulp and Paper Industry Waste, based on Circular-Economy Approaches” (<https://www.paperchain.eu/>), está trabajando para aumentar ese porcentaje de productos explotables por otras industrias. Para ello, se ha establecido un modelo de economía circular muy potente para reducir las tasas de vertido y aumentar la competitividad de la industria papelera, aportando soluciones específicas para diferentes sectores (químico, minero y construcción) y demostrando su valor añadido y validez a través de trabajos experimentales y la ejecución de pilotos o casos de estudio a escala real. Los principales desarrollos incluidos en el proyecto son cinco:

- El uso de residuos de procesos alcalinos de producción de celulosa (dregs, grits y barro carbonatado) como áridos gruesos y finos en la producción de asfaltos y hormigón.
- La valorización de lodos de destintado de papel y cenizas volantes de valorización energética de residuos papeleros para la rehabilitación y estabilización de deslizamientos de ladera en líneas de ferrocarril.

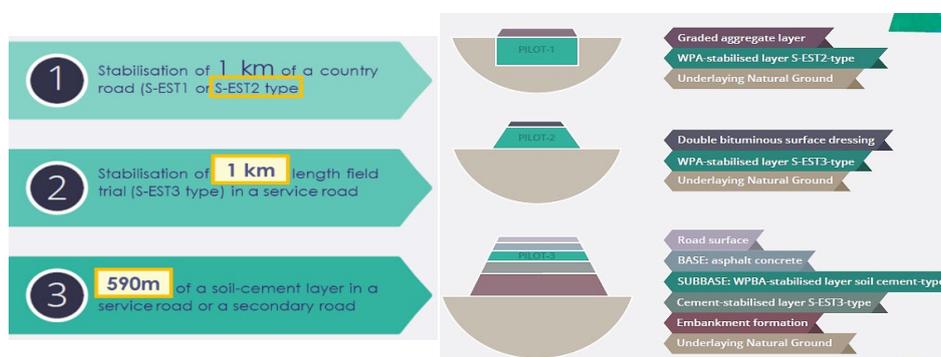
## EJEMPLOS PRÁCTICOS DE MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR APLICADOS EN CONSTRUCCIÓN: EXPERIENCIA DE ACCIONA

- La utilización de cenizas volantes procedentes de la valorización energética de residuos papeleros como conglomerantes hidráulicos en carreteras (aplicaciones para la estabilización de suelos y la construcción de capas de suelocemento).
- Uso de lodos primarios de planta de tratamiento de aguas residuales para la producción de derivados del etanol.
- Dregs como barrera hidráulica y para evitar la difusión de oxígeno en escombros mineros para prevenir la aparición de drenaje ácido.

Para destacar un modelo de economía circular focalizado en el tratamiento del terreno, se destaca la tercera aplicación para la estabilización de suelos y la construcción de capas de suelo cemento que establece un modelo de economía circular para unir construcción con el proceso de reciclaje de pasta de papel.

El proceso de reciclaje genera rechazos (plásticos y metales) y lodos de depuradora donde se acumulan cargas minerales y fibras de celulosa demasiado cortas para ser reutilizadas. Tras la recuperación de los elementos valorizables (fundamentalmente metales), el resto se eliminan mediante transporte a vertedero o en aquellas plantas que permiten la valorización energética, se incineran para la recuperación de energía. La valorización energética produce cientos de miles de toneladas de cenizas de combustión (WPA por sus siglas en inglés Waste Paper Ashes) al año, que en la actualidad son enviadas en su gran mayoría a vertedero.

Una de estas cenizas ha sido estudiada como conglomerante hidráulico alternativo a la cal y el cemento para su utilización en estabilización de suelos. Dentro marco del proyecto PAPERCHAIN, se ha llevado a cabo una campaña completa de ensayos de laboratorio para su evaluación en profundidad y ACCIONA ha ejecutado, en colaboración con la Diputación General de Aragón en dos de ellos, tres tramos experimentales empleando estas cenizas para la ejecución de dos de los suelos estabilizados contemplados en el Artículo 512 y 513 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes, PG3, (S-EST2, S-EST3) y para la construcción de capas de suelocemento (SC) (ORDEN FOM 2523/2014). En todos los tramos se ha sustituido totalmente a los aditivos tradicionales (cal/cemento) por cenizas y se han cumplido todas las prescripciones mecánicas exigidas por la normativa vigente, confirmando así la validez de este modelo de economía circular.



**Figura 5:** Tramos experimentales realizados dentro del proyecto Paperchain para validar las cenizas WPA para la construcción de firmes

A continuación se describen las tres aplicaciones descritas en la figura 5.

## EJEMPLOS PRÁCTICOS DE MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR APLICADOS EN CONSTRUCCIÓN: EXPERIENCIA DE ACCIONA

### Los suelos estabilizados de tipo 1 y 2. Piloto S-EST2 en Ejea de los Caballeros (Zaragoza)

Los estabilizados de tipo 1 y 2 se utilizan para mejorar la capacidad soporte del suelo existente en la traza de una carretera, de forma que se reduzcan las deformaciones esperables en las capas superiores de la misma y eventualmente sus espesores. De forma habitual, esta estabilización se utiliza con suelos arcillosos y en función de su plasticidad, se debe usar cal o cemento, que se mezclan con el suelo mediante una estabilizadora, con el objeto de eliminar hinchamiento, colapso y aumentar su capacidad soporte (CBR). Además de su aplicación en carreteras pavimentadas, este tipo de mejora del terreno se puede aplicar a caminos rurales sin pavimentar, de forma que tras el estabilizado, el suelo arcilloso se vuelva menos susceptible al agua y por tanto menos deformable, reduciendo el coste en mantenimiento.

En el marco del proyecto se realizó la estabilización de un km de camino rural en el parque de los Boalares (fig. 3) de Ejea de los Caballeros (Zaragoza) en estrecha cooperación con la concejalía de Agricultura y Medio Ambiente de su Ayuntamiento. En este caso se completó un tramo estándar de 100 m con el 3 % de cal según el PG3 y 900 m con un 3 % de ceniza (WPA).



Figura 6. Localización geográfica del tramo de prueba y situación en la sección del vial.

Tabla 3. Resultados obtenidos en el estabilizado, tramos de contraste de cal y estabilizado con WPA.

ENSAYO	Suelo sin tratar	Suelo tratado 3 % ceniza	Suelo tratado 3 % cal
Proctor modificado	2,05 t/m <sup>3</sup> / 9,02 %	2,03 t/m <sup>3</sup> / 10,8 %	2,019 t/m <sup>3</sup> / 10,8 %
Hinchamiento / Colapso	2,94 %	0,12 % / 0,16 %	0,40 % / 0,51 %

ENSAYO	SUELO SIN TRATAR	REQUISITO	SUELO + 3 % CENIZA	SUELO + 3 % CAL
CBR a 7 días	95% PM: <b>4.2</b>	97% PM ≥ 12	95% PM: <b>31</b> ✓	95% PM: <b>29</b> ✓
	98% PM: <b>5.6</b>		98% PM: <b>47</b> ✓	98% PM: <b>46</b> ✓
	100% PM: <b>6.7</b>		100% PM: <b>71</b> ✓	100% PM: <b>68</b> ✓

### Los suelos estabilizados de tipo 3. Piloto S-EST3 en Villamayor de Gállego (Zaragoza)

La capa de suelo estabilizado de tipo 3 se conforma con material granular de aportación y cemento en un contenido mínimo del 3 %, que se dispone en la parte superior del terraplén. Se

## EJEMPLOS PRÁCTICOS DE MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR APLICADOS EN CONSTRUCCIÓN: EXPERIENCIA DE ACCIONA

trata de una capa de alta capacidad de soporte y mayor rigidez. Su principal requisito técnico es la resistencia a compresión simple tras siete días de curado, que debe ser superior a 1,5 MPa.

Este piloto se realizó en la localidad de Villamayor de Gállego (Zaragoza) en octubre de 2018 y consistió en la ejecución de 900 m de longitud de capa de S-EST3 con un 5 % de WPA y 100 m de longitud de tramo de contraste con la solución estándar con un 3 % de cemento (3). La capa quedó cubierta con un doble tratamiento superficial. Este vial está sometido a un tráfico pesado de cierta entidad consistente en vehículos agrícolas y camiones.



**Figura 7.** Localización geográfica del tramo de prueba y situación en la sección del vial.

Tabla 4. Resultados obtenidos en el estabilizado, tramos de contraste de cemento y estabilizado con WPA.

TEST	REQUISITOS	Suelo + 5 % ceniza	Suelo + 3 % cemento
Resistencia compresión uniaxial 7 días	98% PM $\geq$ 1,5 MPa	98% PM: 2,1 MPa ✓ (media)	98% PM: 4,2 MPa ✓ (media)

### *La capa de suelo cemento. Piloto SC en la A31, variante de La Font de la Figuera (Valencia)*

La capa de suelo cemento es la más comprometida desde el punto de vista técnico. Esta capa recibe el grueso de los esfuerzos transmitidos por el tráfico pesado a través del pavimento y corre el riesgo de disgregarse en un material granular y más deformable, pudiendo afectar al pavimento. Por ello se exige una mayor rigidez, traducida en un mayor requerimiento de resistencia a compresión simple. En este caso, el suelo cemento no se elabora *in situ*, como en los casos anteriores, sino en una planta especial donde se produce la mezcla de suelo, conglomerante y agua de forma precisa.



**Figura 8.** Localización geográfica del tramo de prueba y situación en la sección del vial.

En este caso, todas las probetas de SC realizadas en el control de calidad superaron los 2,5 MPa de resistencia a 7 días, cumpliendo con claridad con los requisitos establecidos en el PG3.

### *Conclusiones sobre la efectividad del WPA como conglomerante alternativo*

Todas las pruebas realizadas han cumplido con los requisitos establecidos en la legislación y las prestaciones obtenidas han sido similares a las del cemento, aunque en algunos casos esto haya supuesto aumentar la dosificación. Otros parámetros como la trabajabilidad del material no se vieron afectados y se pudo proceder siguiendo los métodos constructivos habituales.

Esta experiencia confirmó el potencial de este material para establecer un modelo de economía circular interesante tanto para el sector papelero, que mejora la gestión de sus residuos y obtiene un producto de valor añadido, como para el de la construcción, que identifica una alternativa viable a los ligantes hidráulicos para la ejecución de suelos estabilizados y capas de suelo cemento.

En cuanto al comportamiento ambiental, además de la monitorización ambiental que actualmente se está llevando a cabo dentro del proyecto, se ha realizado una evaluación de impacto ambiental mediante análisis de ciclo de vida, donde se ha visto una mejora en el comportamiento ambiental global en comparación con la solución tradicional de estabilizado y suelo cemento, y en concreto una mejora de un 80% en el indicador relativo a GWP según la categoría de impacto CML 2001.

### **6.3.2. Firmes**

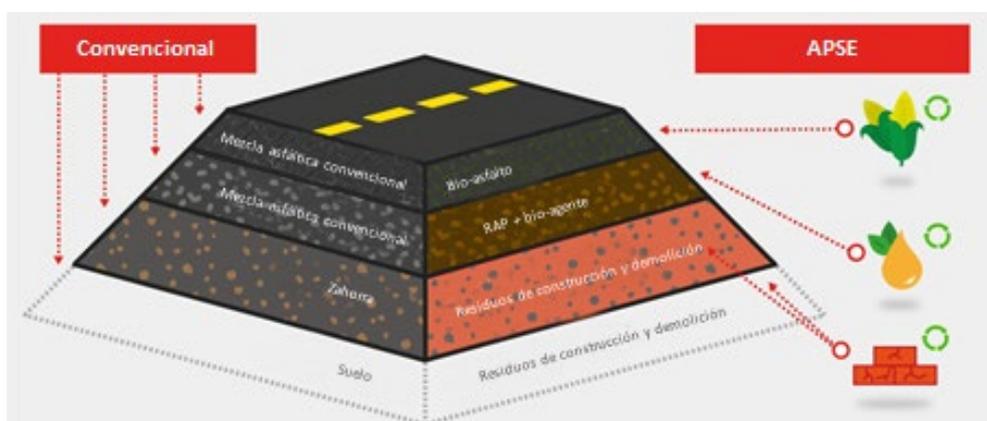
El siguiente ejemplo resume los principios básicos y resultados obtenidos tras la validación de un nuevo concepto de pavimento asfáltico más sostenible, desarrollado dentro del proyecto de investigación liderado por ACCIONA, APSE: “Use of eco-friendly materials for a new concept of Asphalt Pavements for a Sustainable Environment” (<https://apseproject.eu/>) que incluye no solo

## EJEMPLOS PRÁCTICOS DE MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR APLICADOS EN CONSTRUCCIÓN: EXPERIENCIA DE ACCIONA

principios de economía circular sino el uso de materiales de origen renovable para la producción de mezclas asfálticas. Este concepto incluye el uso de tecnologías más respetuosas con el medio ambiente en cada una de las capas del firme, desde la sub-base hasta la rodadura:

- En la capa de rodadura la mayor innovación consiste en la incorporación de un betún modificado con lignina procedente de la producción del bio-etanol, sub-producto de origen renovable que permite sustituir parte del betún convencional y parte de los polímeros habituales derivados del petróleo para la fabricación de betunes modificados de acuerdo a las especificaciones UNE EN 14023:2010 (AENOR, 2010)
- En las capas intermedia y base, incorpora material fresado RAP en tasas medias-elevadas, gracias al uso de un agente fluxante de origen renovable “bio” sintetizado a partir de aceites vegetales. Este aditivo permite trabajar a temperaturas convencionales, no siendo necesario un calentamiento extra de los áridos para la incorporación del material fresado, reduciendo por tanto el consumo de energía y las emisiones asociadas.
- En la sub-base se utilizan áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCDs) en alternativa a la zahorra artificial.

La siguiente figura muestra la comparativa entre el concepto anterior y los firmes bituminosos convencionales.



**Figura 9:** Nuevo concepto de firme sostenible frente al convencional

La sección de firme planteada ha sido validada en la pista de ensayos acelerados del Cedex británico TRL (UK Transport Research Laboratory). En función de los resultados obtenidos, esta sección ha demostrado que su comportamiento mecánico es el esperado y que los materiales empleados son perfectamente válidos para la construcción de carreteras.

Adicionalmente, se ha ejecutado un tramo experimental en la Comunidad de Madrid dentro del proyecto de mejora y remodelación del enlace de la M-607 con la M-616 para establecer una comparativa del comportamiento del firme convencional frente al nuevo concepto desarrollado. En particular, la actuación ha tenido lugar en la M-607 a su paso por la Universidad Autónoma de Madrid, en el tramo de carretera que ha incorporado un ramal del nuevo enlace, donde se

## EJEMPLOS PRÁCTICOS DE MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR APLICADOS EN CONSTRUCCIÓN: EXPERIENCIA DE ACCIONA

ha ejecutado un tramo de 350m, en el que se han validado los materiales desarrollados, y un tramo control de unos 100m de longitud.

La categoría de tráfico pesado del citado tramo es TO y considerando que se cuenta con una explanada tipo E3, en función del Catálogo de secciones de firmes de la Norma 6.1 IC (ORDEN FOM/3460/2003), se estableció para el tramo experimental, la sección de firme 031, que incluye 30cm de mezcla bituminosa y una sub-base de 25cm de zahorra.

Considerando las innovaciones planteadas, la sección quedó establecida de la siguiente manera:

- 3 cm de capa de rodadura BBTM11B fabricada con betún modificado con polímeros y lignina que cumple con las especificaciones del Art. 212 del PG-3 para un BMP 45/80-60.
- 8 cm de capa intermedia AC22 B50/70 bin D 30R y 19cm base AC32 B50/70 base G 30R: Mezclas bituminosas con un 30% de material reciclado gracias a la adición de un aditivo fluxante de origen natural que facilita la incorporación de mayores tasas de fresado
- 25cm de sub-base granular empleando zahorra 100% reciclada procedente de residuos de construcción y demolición como alternativa a la zahorra artificial contemplada por la normativa.

Las siguientes figuras ilustran la ejecución de las diferentes capas del firme y el tramo experimental una vez finalizados todos los trabajos y abierto al tráfico:



**Figura 10:** Ejecución de la capa de base (izquierda) y subbase (derecha)



**Figura 11:** Ejecución de la capa intermedia (izquierda) y rodadura (derecha)



Figura 12: Tramo finalizado y abierto al tráfico

Una vez ejecutado el tramo experimental se tomaron muestras de las distintas mezclas bituminosas extendidas como control de calidad y para su caracterización en laboratorio. Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos.

Tabla 5: Propiedades de las zahorras empleadas para la ejecución del tramo experimental

Ensayo/Material	Zahorra caliza	Zahorra reciclada
Lím. de Atteberg	No plástico	No plástico
Índice de Lajas (%)	8	10
Caras de fractura (%)	100	100
Equivalente de arena (%)	62	50
Coefficiente de desgaste de los Ángeles (%)	29	39
Coefficiente de limpieza (%)	0,74	0,63
Sulfatos solubles en agua (%)	0,001	0,07
Contenido de Azufre (%)	0,524	0,081

En función de los resultados anteriores y teniendo en cuenta el Artículo 530 del PG3, el Coeficiente de desgaste de los Ángeles es el único parámetro de las zahorras recicladas que no cumple con la normativa vigente. El tramo experimental se monitorizará para evaluar si este hecho tiene influencia en las prestaciones mecánicas del tramo.

Tabla 6: Comparativa de los resultados del control de calidad de las mezclas asfálticas experimentales APSE y las de referencia

Ensayo/Capa	Capa base referencia	Capa base APSE	Capa intermedia Referencia	Capa intermedia APSE	Capa de rodadura Referencia	Capa de rodadura APSE
Porcentaje de betún, %	4.39	4.64	4.09	4.10	5.41	5.37
Densidad, kg/m <sup>3</sup>	2.342	2.367	2.324	2.360	2.043	2.045
Densidad Máxima, kg/m <sup>3</sup>	2.507	2.494	2.508	2.474	2.47	2.465
Huecos en mezcla, %	6.6	5.1	7.3	4.6	17.7	17.6
Ensayo de pista aire, mm/10 <sup>3</sup> ciclos	0.059	0.040	0.068	0.045	0.069	0.058

ITSR, %	94.2	95.5	96.8	99.5	93.1	97.3
---------	------	------	------	------	------	------

Teniendo en cuenta los artículos 542 y 543 del PG3, se puede afirmar que las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas de la sección construida cumplen con la normativa vigente y por tanto se podrían emplear perfectamente para una construcción o rehabilitación más sostenible de cualquier carretera, independientemente del volumen de tráfico pesado.

Las innovaciones del nuevo concepto de firme aportan alternativas interesantes a diseñadores, constructoras y licitadores de obras de carreteras: bio-fluxantes para facilitar la incorporación de tasas medias-altas de material fresado, lignina como apuesta clara para una mayor presencia de betunes que incluyen en su composición materiales de origen "bio", RCDs para la reducir el espacio que ocupan en vertedero y reducir la extracción de zahorras que en aquellas secciones de firmes que las incluyen se emplean en grandes cantidades debido a los espesores de capa que plantea la Instrucción de Carreteras 6.1IC.

Por último, confirmar que la producción y puesta en obra de cada una de las capas se llevó a cabo con medios tradicionales y no se registraron incidencias, lo que confirma que el proceso de implantación de la sección de firme descrita es análogo al de una análoga convencional, pudiendo este modelo ser replicado en cualquier otra obra.

## 7. DISCUSIÓN

Los resultados mostrados en la presente comunicación muestran ejemplos de modelos exitosos de economía circular aplicados en el sector de la construcción, demostrando la viabilidad técnica, económica y ambiental de su ejecución, y demostrando cómo este sector puede suponer un factor clave en el paso de una economía lineal a una economía circular.

En referencia a los distintos conceptos tratados, en cuanto a la simbiosis industrial cabe destacar cómo se han estudiado las barreras no tecnológicas que estos modelos pueden suponer.

En cuanto a la aplicabilidad del nuevo modelo de simbiosis industrial, algunos de los factores que podrían favorecer este tipo de actuaciones identificadas en el marco del proyecto FISSAC a través de una serie de Living Labs en los países del consorcio, son:

- Marco regulatorio más claro y simple, que podría simplificar el intercambio de residuos entre industrias.
- Iniciativas para mejorar la aceptación del mercado de materias primas secundarias.
- La necesidad de generar confianza y colaboración entre los diferentes actores para construir juntos nuevas oportunidades.
- Materiales de capacitación e intercambio de experiencias que podrían representar información útil para los actores industriales pero, al mismo tiempo, también podrían contribuir a mejorar la aceptación social de estas soluciones.

Los resultados de FISSAC deberían ayudar a avanzar en los cambios relacionados con los impactos del área de residuos. El objetivo de ACCIONA es que nuestra experiencia en escenarios de demostración utilizando residuos y subproductos industriales como recursos a lo largo de la

cadena de valor de la construcción se repita en otras regiones y escenarios. La metodología FISSAC resume y orienta los principales pasos para iniciar las actividades.

En el caso de la incorporación de materias primas secundarias, como el ejemplo comentado tanto en las aplicaciones de tratamiento de terreno como en firmes, se muestran resultados exitosos desde el punto de vista técnico, ambiental y económico. Sin embargo, todavía existen una serie de barreras regulatorias que impiden la amplia implantación de este tipo de soluciones. Por todo ello es muy importante establecer un marco regulatorio que permita dar solución a este tipo de aplicaciones y que se amplíe el fin de condición de residuo para muchas de estas materias primas secundarias. Dados los tiempos que requieren este tipo de trámites, se han de crear facilidades por las autoridades regionales para poder dar cabida a este tipo de aplicaciones en el marco legislativo actual y facilitar los trámites de gestión de este tipo de residuos. Estas medidas podrían suponer la implementación de muchas de estas soluciones con las ventajas que la construcción de carreteras (tanto en tratamiento de terreno como en firme) supone por su elevado consumo en materias primas.

En el caso de las aplicaciones relacionadas con innovaciones en materiales compuestos mediante estrategias de ecodiseño, pueden suponer un punto de referencia para el sector en construcciones que, como en el caso de los túneles, podrían implementarse también en otras ocasiones, tanto en el ámbito nacional como en el internacional.

## 8. CONCLUSIONES

La presente comunicación resume varios ejemplos aplicados por ACCIONA que demuestran la viabilidad del empleo de modelos de economía circular en construcción, principalmente basados en dos perspectivas, la del ecodiseño y la del empleo de materias primas secundarias derivadas de la simbiosis industrial.

La presente comunicación muestra los resultados de diversas experiencias aplicadas en distintos entornos constructivos, demostrando los resultados favorables desde el punto de vista técnico y ambiental de las distintas aplicaciones, y suponiendo un punto de partida para el cambio hacia el nuevo paradigma que supone la economía circular en el sector de la construcción.

## 9. MENCIONES

Algunas de las aplicaciones mencionadas en la presente comunicación se han llevado a cabo dentro de los proyectos financiados siguientes:

**FISSAC:** Fostering Industrial Symbiosis for a Sustainable Resource Intensive Industry across the extended Construction Value Chain. Este proyecto ha sido cofinanciado bajo el programa de la Unión Europea H2020 de investigación e innovación, bajo el Grant Agreement Número 642154.

**PAPERCHAIN:** New Niche Markets for the Pulp and Paper Industry Waste, based on Circular-Economy Approaches. Este proyecto ha sido cofinanciado por el programa de la Unión Europea H2020 de investigación e innovación, bajo el Grant Agreement Número 730305

APSE: Use of eco-friendly materials for a new concept of Asphalt Pavements for a Sustainable Environment. Este proyecto ha sido cofinanciado por el Séptimo Programa Marco de investigación, desarrollo tecnológico y demostración, bajo el Grant Agreement Número 603862.

## 10. REFERENCIAS

ACCIONA (2020). *Memoria de Sostenibilidad 2019*. [Archivo PDF]

<https://mediacd.n.acciona.com/media/mm3ppez/7-memoria-sostenibilidad-2019.pdf>

Adams K., Osmani M., Thorpe T., and Thornback, J. (2017). *Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers. Proceeding of the Institution of Civil Engineers – Waste and Resource Management, 170(1)15-24*

Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR (2010). *Betunes y ligantes bituminosos. Estructura de especificaciones de los betunes modificados con polímeros.*

Bonnet F. (2016). *Identification of best practices and lessons learnt in Industrial Symbiosis.*  
<http://fissacproject.eu/wp-content/uploads/2018/06/FISSAC-D1.2-Best-practices-and-lessons-learnt-in-IS-Summary.pdf>

European Committee for Standardization, CEN (2018). CWA17354:2018 CEN Workshop Agreement on Industrial Symbiosis: Core Elements and Implementation Approaches.

Comisión Europea (2010). *Comunicación de la Comisión Europea 2020: Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador (COM(2010)2020 final)*. [Archivo PDF]  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52010DC2020&from=ES>

Comisión Europea (2011). *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Hola de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos (COM(2011)571 final)*. [Archivo PDF]

<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0571:FIN:ES:PDF>

Comisión Europea (2020). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las regiones: *Nuevo plan de acción para la economía circular por una Europa más limpia y más competitiva (COM(2020) 98 final)*. [Archivo PDF] [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0018.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0018.02/DOC_1&format=PDF)Miteco (2020). *Estrategia Española de Economía Circular (EEEC) —“España Circular 2030”*. [Archivo PDF]. [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/espanacircular2030\\_def1\\_tcm30-509532.PDF](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/espanacircular2030_def1_tcm30-509532.PDF)

Confederation of European Paper Industries, CEPI. (2017). *Key Statistics 2017: European Pulp and Paper Industry*. [Archivo PDF] <https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2021/01/Final-Key-Statistics-2017.pdf>

Deviatkin, I., Kujala, A., Horttanainen M. (2015) Deinking sludge utilization possibilities: technical, economic, and environmental assessments. *LUT Scientific and Expertise Publications/Research Reports*. DOI: 10.13140/RG.2.1.4973.7368

Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. (2014). *Artículo 212: Betunes modificados con polímeros*. Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG3) recogido en la ORDEN FOM/2523/2014.

Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. (2014). *Artículo 510: Zahorras*. Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG3) recogido en la ORDEN FOM/2523/2014.

Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. (2014). *Artículo 512: Suelos*

## EJEMPLOS PRÁCTICOS DE MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR APLICADOS EN CONSTRUCCIÓN: EXPERIENCIA DE ACCIONA

*Estabilizados in Situ.* Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG3) recogido en la ORDEN FOM/2523/2014.

Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. (2014). *Artículo 513: Materiales Tratados con cemento.* Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG3) recogido en la ORDEN FOM/2523/2014.

Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. (2014). *Artículo 542: Mezclas Bituminosas en Caliente.* Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG3) recogido en la ORDEN FOM/2523/2014.

Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. (2014). *Artículo 543: Mezclas Bituminosas Discontinuas en caliente para capas de rodadura.* Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG3) recogido en la ORDEN FOM/2523/2014.

Ellen MacArthur Foundation (2013). Towards the Circular Economy Vol. 1. *Journal of Industrial Ecology*, 1(1), 4–8.

European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability. (2010). *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance.* First edition March 2010. EUR 24708 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union.

Eurostat (Marzo 2020). *Extra-EU trade in raw materials. Datos extraídos en Marzo de 2020.*  
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Extra-EU\\_trade\\_in\\_raw\\_materials#General\\_view\\_on\\_EU\\_trade\\_in\\_raw\\_materials](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Extra-EU_trade_in_raw_materials#General_view_on_EU_trade_in_raw_materials)

Leno Granada, J., Rouco Rodriguez, I., Viñolo Albione A. (2014). *Construction Plates. España. WO*

2014072543

A1.

<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/050684095/publication/WO2014072543A1?q=WO%202014072543%20A1>

Ministerio de Medio Ambiente y Agricultura y CEDEX (2007). *Actualización catálogo de residuos utilizables en construcción* sobre la versión de 2002. [Archivo PDF]

<http://www.cepco.es/Uploads/docs/Actualizacion%20del%20catalogo%20de%20residuos%20utilizables%20en%20construccion.pdf>

MAESTRI - un Proyecto H2020 en el marco de la iniciativa SPIRE-PPP. <https://maestri-spire.eu/project/>

Ministerio de Medio Ambiente y Agricultura y CEDEX. *Catálogo de residuos utilizables en construcción*. <http://www.cedexmateriales.es/2/catalogo-de-residuos/>

Ministerio de Fomento (2003) Instrucción 6.1-IC, recogido en la ORDEN FOM/3460/2003.

Naciones Unidas. Convención Marco de Cambio Climático (2015). *Conferencia de las Partes. Aprobación del Acuerdo de París*. [Archivo PDF]  
<https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/l09s.pdf>

Naciones Unidas (2015). *Objetivo y metas de desarrollo sostenible*.  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>

Real Decreto 314/2006 de 17 de Marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE-A-2006-5515.

Transparency Market Research (2018). *Industrial Waste Management Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast, 2018–2026*. Rep ID: TMRGL12290.  
<https://www.transparencymarketresearch.com/industrial-waste-management->

[market.html](#)

U.S Energy Information Administration (2017). *Monthly Energy Review* Nov. 2017. [Archivo PDF].

<https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/archive/00351711.pdf>

US Environment Protection Agency (2017). Inventory of U.S Greenhous Gas Emissions and sinks:

1990-2015. [Archivo PDF] [https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-02/documents/2017\\_complete\\_report.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-02/documents/2017_complete_report.pdf)

Valencia Port. Autoridad Portuaria de Valencia (11 de enero de 2016). *El nuevo faro de del puerto de Valencia recibe el premio a la innovación en materiales compuestos.*

<https://www.valenciaport.com/en/el-nuevo-faro-del-puerto-de-valencia-recibe-el-premio-a-la-innovacion-en-materiales-compuestos/>