CONAMA 2026

Descarbonizando la aviación y el cemento mediante circularidad del CO2 y e-SAF

ECO2FLY: una cadena de valor circular del CO2 para la producción de combustible sintético de aviación en Villaluenga de la Sagra (Toledo)

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Edita: Fundación Conama

Año: 2026

Este documento está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Personas autoras de la presente comunicación técnica

Autora principal de la comunicación: **Azahara García Cachinero**. Low Carbon – Global Energy Logistics. Exolum. **Javier Esteban –** Socio fundador ECO2FLY Power. **Francisco Abab** (HOLCIM)

Otros Autores: Laura López. Holcim España.

Índice

1. Resumen 1

2. Contexto: hojas de ruta de descarbonización del cemento y la aviación ... 1

2.1. El sector cementero: emisiones de proceso difíciles de abatir 2

2.2. La aviación: el combustible como principal palanca 2

2.3. La oportunidad: conectar ambas cadenas de valor 3

3. ECO2FLY: una cadena de valor circular del CO2 3

3.1. Socios y configuración 3

3.2. Balance de carbono: valorización y almacenamiento 4

4. Desarrollo técnico 4

4.1. Gestión de CO2 en la cementera 4

4.2. Suministro energético del complejo 4

4.3. Producción de e-SAF, con un objetivo de 85.500-100.000 t/año. 5

4.4. Logística de CO2 y de e-SAF 5

4.5. Integración y simbiosis industrial 5

4.6. Estado de desarrollo y próximos pasos 6

5. Impactos ambientales, industriales y territoriales 6

6. Conclusiones 7

Bibliografía **7**

1. Resumen

ECO2FLY tiene como objetivo establecer una cadena de valor circular plenamente integrada para la producción de combustible sintético de aviación (e-SAF), reforzando la autonomía europea en materia de combustibles y proporcionando un modelo escalable de reducción de emisiones de CO2 aplicable a clústeres industriales.

Liderado por ECO2FLY Power, Exolum y Holcim, el proyecto integra en una única plataforma de simbiosis industrial la gestión del CO2 generado en la fábrica de cemento de Holcim en Villaluenga de la Sagra (Toledo), la producción de e-SAF y la gestión del CO2 no valorizado hasta su almacenamiento geológico permanente. Este enfoque responde a dos retos habituales de los proyectos pioneros: el desarrollo fragmentado de cada eslabón y los riesgos asociados a la comercialización del producto.

La configuración de referencia prevé gestionar unas 700.000 t de CO2 al año. Aproximadamente la mitad se valorizará para producir 85.500-100.000 t/año de e-SAF de calidad aeronáutica, equivalente a alrededor del 50 % de la demanda de combustible sintético prevista en España para 2032 bajo el Reglamento ReFuelEU Aviation; el resto se destinará a almacenamiento geológico permanente.

Más allá de la escala, la singularidad de ECO2FLY reside en la integración de distintas actividades industriales y logísticas dentro de una única cadena de valor circular, con servicios e infraestructuras comunes y una gestión coordinada de recursos y flujos.

Palabras clave: e-SAF; CO2; industria cementera; simbiosis industrial; economía circular; ReFuelEU Aviation.

2. Contexto: hojas de ruta de descarbonización del cemento y la aviación

El cemento y la aviación comparten un rasgo que los distingue de otros sectores: una parte sustancial de sus emisiones es difícil de reducir mediante electrificación directa o eficiencia energética. Ambos necesitan soluciones industriales complementarias para alcanzar la neutralidad climática en 2050 y afrontan obligaciones regulatorias crecientes en la Unión Europea.

2.1. El sector cementero: emisiones de proceso difíciles de abatir

Alrededor de dos tercios de las emisiones de una fábrica de cemento proceden de la descarbonatación de la caliza durante la fabricación del clínker, y no de la combustión. Reducir el factor clínker, emplear combustibles alternativos con fracción biogénica y mejorar la eficiencia de los hornos son palancas necesarias, pero no suficientes para abordar las emisiones de proceso a escala industrial.

Así lo recoge la hoja de ruta de la industria cementera española, presentada por Oficemen en 2020, que sitúa la gestión del carbono como elemento clave para alcanzar la neutralidad climática en 2050. La presión económica refuerza esta necesidad: la reducción progresiva de la asignación gratuita de derechos en el régimen europeo de comercio de emisiones (EU ETS) entre 2026 y 2034, acompañada del Mecanismo de Ajuste en Frontera por Carbono (CBAM), incrementa el coste de cada tonelada de CO2 emitida.

2.2. La aviación: el combustible como principal palanca

En el transporte aéreo, las alternativas actuales presentan limitaciones importantes para los vuelos de media y larga distancia en el horizonte 2050. Los combustibles sostenibles de aviación (SAF), compatibles con la flota y las infraestructuras existentes, constituyen por ello una de las principales palancas de reducción de emisiones del sector.

El Reglamento (UE) 2023/2405 (ReFuelEU Aviation) obliga a los proveedores de combustible en los aeropuertos de la Unión a incorporar cuotas mínimas crecientes de SAF y, a partir de 2030, una subcuota específica de combustibles sintéticos de aviación (e-SAF) (Cuadro 1). Esta subcuota crea una demanda regulada que hoy carece de capacidad de producción a escala industrial en España.

Cuadro 1. Cuotas mínimas de SAF y de combustibles sintéticos de aviación establecidas por ReFuelEU Aviation.

Periodo	Cuota mínima de SAF	Del cual, combustibles sintéticos (e-SAF)
2025 – 2029	2 %	—
2030 – 2031	6 %	1,2 % de media (mínimo 0,7 % anual)
2032 – 2034	6 %	2 % de media (mínimo 1,2 % en 2032 y 2033)
2035 – 2039	20 %	5 %

Periodo	Cuota mínima de SAF	Del cual, combustibles sintéticos (e-SAF)
2040 – 2044	34 %	10 %
2045 – 2049	42 %	15 %
2050	70 %	35 %

Fuente: elaboración propia a partir del Reglamento (UE) 2023/2405, anexo I.

2.3. La oportunidad: conectar ambas cadenas de valor

ECO2FLY parte de una idea sencilla: el CO2 generado por la actividad cementera puede convertirse en materia prima para producir e-SAF. Gestionado como una corriente industrial y no como un residuo, ese carbono permite contribuir a la descarbonización de una industria de proceso y, al mismo tiempo, sustituir queroseno fósil. España reúne además condiciones favorables para este modelo: disponibilidad de recursos, una red logística de hidrocarburos con conexión a los principales aeropuertos y una fábrica de cemento de gran escala a poca distancia de Madrid.

3. ECO2FLY: una cadena de valor circular del CO2

3.1. Socios y configuración

El proyecto reúne capacidades complementarias de tres socios industriales. Holcim aporta la fábrica de cemento de Villaluenga de la Sagra, origen del CO2. ECO2FLY Power desarrolla la producción de e-SAF. Exolum aporta su experiencia en logística energética, tanto para el acondicionamiento y transporte del CO2 destinado a almacenamiento como para la distribución del e-SAF hasta su punto de consumo.

El complejo se organiza en cinco bloques funcionales:

- Gestión y acondicionamiento de CO2 en la fábrica de cemento.
- Suministro energético y servicios asociados al complejo.
- Producción de e-SAF, con un objetivo de 85.500-100.000 t/año.
- **Logística de CO2**: almacenamiento intermedio, expedición y transporte del CO2 no valorizado hasta emplazamientos aptos para su almacenamiento geológico permanente.

- Servicios e infraestructuras comunes: agua, electricidad, calor, ferrocarril, medición, especificaciones de calidad y límites de batería entre socios.

3.2. Balance de carbono: valorización y almacenamiento

El diseño reparte el CO2 gestionado en dos destinos con funciones climáticas distintas. Aproximadamente el 50 % se valoriza para producir e-SAF y desplazar queroseno fósil. La fracción restante se destina a almacenamiento geológico permanente.

Esta doble salida aporta flexibilidad operativa y comercial: el reparto entre valorización y almacenamiento puede ajustarse según la disponibilidad de las instalaciones, las condiciones de mercado del e-SAF y la evolución del marco regulatorio sobre el origen del CO2 admisible.

4. Desarrollo técnico

4.1. Gestión de CO2 en la cementera

El proyecto contempla la gestión del CO2 procedente de la actividad cementera y su acondicionamiento para los usos previstos, de acuerdo con las especificaciones de calidad y seguridad aplicables.

El diseño integrado permite coordinar los distintos flujos industriales y aprovechar servicios comunes entre las instalaciones del complejo.

4.2. Suministro energético del complejo

El complejo contará con el suministro energético necesario para asegurar la producción prevista y el cumplimiento de los requisitos regulatorios aplicables al producto.

La operación se coordinará mediante una gestión integrada de la energía y de la demanda de las distintas instalaciones.

4.3. Producción de e-SAF, con un objetivo de 85.500-100.000 t/año.

El proyecto prevé una producción objetivo de 85.500-100.000 t/año de e-SAF de calidad aeronáutica. Los detalles del proceso de producción y de la configuración industrial son confidenciales.

4.4. Logística de CO2 y de e-SAF

El CO2 no valorizado se acondiciona, se almacena temporalmente y se transporta hasta emplazamientos de almacenamiento geológico permanente. El proyecto ha completado estudios específicos sobre la cadena logística, las terminales y las interfaces de transferencia de custodia.

El e-SAF podrá mezclarse y distribuirse a través de la red de almacenamiento y transporte de hidrocarburos existente hasta los aeropuertos, aprovechando las infraestructuras logísticas disponibles.

4.5. Integración y simbiosis industrial

ECO2FLY se concibe como un programa integrado y no como una yuxtaposición de plantas. Los requisitos de calidad, el balance de recursos, la logística y las paradas de mantenimiento exigen coordinación, almacenamiento intermedio y flexibilidad operativa. Las principales sinergias son:

- Coordinación de corrientes industriales y servicios auxiliares entre los distintos bloques del complejo.
- Aprovechamiento de recursos y recuperación de calor residual para reducir consumos externos.
- Reutilización y reciclado de agua mediante una estrategia común compatible con las necesidades del complejo.
- Infraestructuras compartidas de conexión eléctrica, servicios auxiliares, almacenamiento, ferrocarril y control.
- Definición común de interfaces, límites de batería, responsabilidades, medición y transferencia de custodia entre socios.

El Cuadro 2 resume los principales parámetros de la configuración de referencia.

Cuadro 2. Principales parámetros de la configuración de referencia de ECO2FLY.

Parámetro	Valor de referencia
CO2 gestionado	≈ 700.000 t/año
Producción de e-SAF	≈ 85.500 – 100.000 t/año
Destino del CO2 no valorizado	Almacenamiento geológico permanente
Vida útil	25 años

4.6. Estado de desarrollo y próximos pasos

El proyecto ha completado los trabajos de factibilidad y estudios específicos sobre transporte ferroviario, adaptación de la cementera, energía renovable, conexión eléctrica y agua. La siguiente fase (FEL-2 / PreFEED) exige consolidar esos resultados en una Base Integrada de Diseño, reconciliar los balances de masa y energía y cerrar las inconsistencias entre estudios.

Los hitos críticos hasta el cierre financiero son la tramitación ambiental y de permisos, el acceso a la red eléctrica, la disponibilidad de capacidad de almacenamiento geológico de CO2, la certificación del producto y la consolidación de contratos de compraventa de e-SAF a largo plazo. Las fechas de referencia se actualizarán en cada fase de ingeniería conforme evolucionen estos factores.

5. Impactos ambientales, industriales y territoriales

- Clima: gestión de unas 700.000 t de CO2 al año en una instalación con emisiones de proceso difíciles de abatir, con retirada permanente de la fracción no valorizada.
- **Aviación:** producción de e-SAF a escala industrial, equivalente a cerca de la mitad de la demanda de combustible sintético prevista en España para 2032, contribuyendo al cumplimiento de ReFuelEU Aviation.
- **Recursos:** integración de renovables, agua reciclada y calor residual en una plataforma de simbiosis industrial que reduce captaciones y consumos externos.
- **Territorio e industria:** inversión y empleo cualificado en la comarca de La Sagra, desarrollo de nuevas cadenas logísticas, material ferroviario especializado y terminales de CO2.

- **Replicabilidad:** creación de conocimiento industrial aplicable a otros clústeres cementeros, químicos, energéticos y logísticos de España y Europa.

- **Autonomía estratégica:** producción europea de combustibles sintéticos y desarrollo de infraestructuras de carbono que reducen la dependencia de importaciones energéticas.

6. Conclusiones

La descarbonización del cemento y de la aviación exige soluciones para emisiones estructurales que no se resuelven con electrificación. ECO2FLY demuestra que ambas necesidades pueden abordarse en un mismo programa: el CO2 que la cementera debe capturar se convierte en materia prima para el e-SAF que la aviación está obligada a incorporar, y la fracción que no se valoriza se almacena de forma permanente.

La principal lección del proyecto es que la integración es esencial. Coordinar la gestión del CO2, la producción, la logística, el almacenamiento y la demanda dentro de un único programa reduce los riesgos de interfaz y de comercialización que frenan a los proyectos pioneros aislados, y genera un modelo replicable para otros polos industriales. Con una demanda regulada a partir de 2030, el reto se desplaza ahora a la ejecución: permisos, red eléctrica, almacenamiento de CO2 y contratos de largo plazo.

Bibliografía

Comisión Europea. (2023a). Reglamento Delegado (UE) 2023/1184 de la Comisión, de 10 de febrero de 2023, por el que se completa la Directiva (UE) 2018/2001 estableciendo una metodología de la Unión con normas detalladas para la producción de combustibles líquidos y gaseosos renovables de origen no biológico para el transporte. Diario Oficial de la Unión Europea, L 157, 11–19.

Comisión Europea. (2023b). Reglamento Delegado (UE) 2023/1185 de la Comisión, de 10 de febrero de 2023, por el que se completa la Directiva (UE) 2018/2001 estableciendo un umbral mínimo para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de los combustibles de carbono reciclado y una metodología para evaluar dicha reducción. Diario Oficial de la Unión Europea, L 157, 20–33.

Oficemen. (2020). Hoja de ruta de la industria cementera española para alcanzar la neutralidad climática en 2050. Agrupación de Fabricantes de Cemento de España.

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2023a). Reglamento (UE) 2023/2405, de 18 de octubre de 2023, relativo a la garantía de unas condiciones de competencia equitativas para un transporte aéreo sostenible (ReFuelEU Aviation). Diario Oficial de la Unión Europea, L 2023/2405.

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2023b). Directiva (UE) 2023/2413, de 18 de octubre de 2023, por la que se modifican la Directiva (UE) 2018/2001, el Reglamento (UE) 2018/1999 y la Directiva 98/70/CE en lo que respecta a la promoción de la energía procedente de fuentes renovables (RED III). Diario Oficial de la Unión Europea, L 2023/2413.

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2023c). Reglamento (UE) 2023/956, de 10 de mayo de 2023, por el que se establece un Mecanismo de Ajuste en Frontera por Carbono. Diario Oficial de la Unión Europea, L 130, 52–104.