CONAMA 2026

De residuo a combustible

Economía circular en el mar

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

Autor Principal de la comunicación: Aida González Palomino. Responsable de sostenibilidad y asuntos regulatorios. XFuel.

Índice

1. Resumen 1

2. Introducción 1

3. Objetivos 2

4. Metodología 2

4.1.La tecnología CLR 2

4.2.Caracterización del producto 3

4.3. Ensayos de mezcla y motor 3

4.4. Cálculo de emisiones 3

5. Resultados 4

5.1. Calidad de combustible 4

5.2. Calidad de combustible 4

5.3. Mezclas y comportamiento en motor 4

5.4. Reducción de emisiones 5

6. Contribución a la economía circular 5

7. Conclusiones 5

8. Bibliografía 6

1. Resumen

El transporte marítimo sigue dependiendo casi por completo de combustibles fósiles, mientras que los residuos oleosos generados a bordo de los buques se incineran sin ningún valor o se vierten en aguas internacionales generando contaminación ambiental, se valorizan como combustibles de bajo valor o se coprocesan en cementeras. Esta comunicación presenta los resultados obtenidos en planta piloto con la tecnología de refinado químico líquido (Chemical Liquid Refining, CLR), un proceso termoquímico que integra en una sola etapa la desulfuración, la eliminación de metales e impurezas inorgánicas, la desaromatización y el craqueo de fracciones pesadas. A partir de residuos líquidos fósiles, el proceso produce un gasóleo marino bajo en carbono conforme con la norma ISO 8217 (grado DMA), utilizable sin modificar motores ni infraestructuras. Los análisis ICP-MS muestran que la mayoría de los metales e impurezas presentes en el residuo dejan de detectarse en el producto y se concentran en el residuo sólido del proceso. Los ensayos independientes de mezcla, estabilidad, combustión y motor confirman su compatibilidad con combustibles comerciales y su estabilidad durante más de 12 meses. El cálculo de emisiones conforme a la Directiva de Energías Renovables arroja un ahorro del 80% frente a la referencia fósil. Los resultados muestran una vía de economía circular que convierte un residuo peligroso en un combustible de bajas emisiones y crea un incentivo económico para su correcta gestión en puerto.

2. Introducción

El transporte emite 8,1 gigatoneladas de CO_2 equivalente al año, el 15% de las emisiones globales, y la cifra sigue creciendo. Si se mantienen las políticas actuales, el consumo de petróleo en el transporte marítimo y la aviación podría aumentar más de un 60% de aquí a 2050. Incluso en el escenario más optimista, con el cumplimiento íntegro y puntual de todos los compromisos climáticos ya anunciados, ese consumo se reduciría como mucho un 15%.

Muchas de las alternativas para descarbonizar el sector, como el amoniaco, el metanol o el hidrógeno de origen renovable requieren nuevos motores, nuevas infraestructuras de suministro y plazos largos de implantación. Los combustibles de carbono reciclado (Recycled Carbon Fuels, RCF) aportan una solución complementaria que ya es viable: aprovechan residuos existentes, sin extraer combustibles fósiles adicionales, y producen combustibles compatibles con la flota actual.

Esta comunicación presenta los resultados obtenidos con la tecnología de refinado químico líquido (CLR) en su planta piloto, y analiza su contribución a la economía circular en el sector marítimo.

3. Objetivos

Los trabajos realizados en planta piloto tenían los siguientes objetivos:

- Demostrar la calidad del producto. Verificar que el combustible obtenido a partir de residuos MARPOL cumple la norma ISO 8217 para gasóleo marino de grado DMA.
- Caracterizar la eliminación de contaminantes. Cuantificar la eliminación de azufre, metales pesados e impurezas inorgánicas y determinar su destino en el proceso.
- Validar el uso como combustible drop-in. Comprobar, mediante ensayos independientes, la compatibilidad del combustible y sus mezclas con combustibles comerciales y con motores diésel no modificados.
- Cuantificar el ahorro de emisiones. Calcular la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero frente a la referencia fósil según la metodología de la Directiva de Energías Renovables.

4. Metodología

4.1.La tecnología CLR

El CLR es un proceso avanzado de refinado termoquímico que permite mejorar una amplia variedad de hidrocarburos, desde residuos líquidos fósiles hasta productos de baja calidad procedentes de procesos de conversión de biomasa. El proceso realiza de forma simultánea varias funciones que en una refinería convencional se llevan a cabo en unidades distintas: desulfuración y eliminación de heteroátomos, eliminación de metales pesados y contaminantes inorgánicos, desaromatización y craqueo de los hidrocarburos más pesados en fracciones destiladas más ligeras (Figura 1).

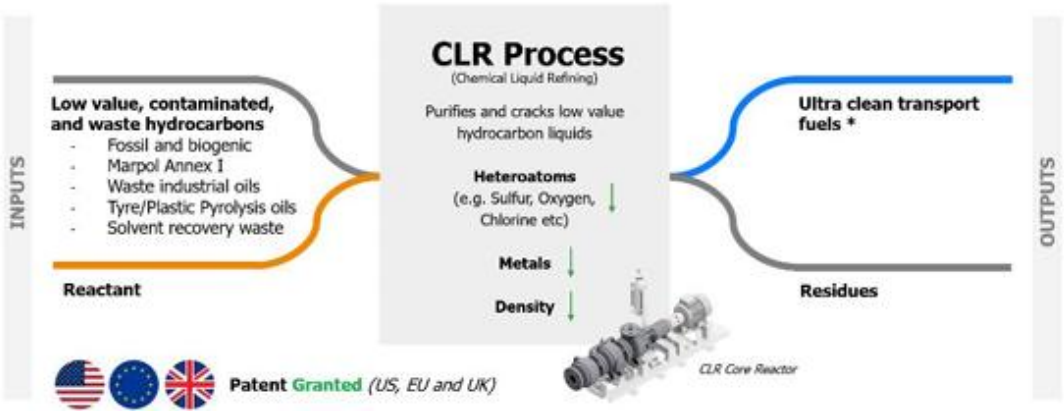


Figura 1. CLR Process.

Fuente: XFuel.

Al combinar la eliminación de contaminantes y la mejora molecular en una única etapa integrada, la complejidad del proceso se reduce de forma significativa frente a los métodos de refino tradicionales, como el hidrotratamiento y el hidrocraqueo.

4.2.Caracterización del producto

La calidad del producto se verificó en tres niveles:

- Control analítico interno de los parámetros clave: contenido de azufre, viscosidad, densidad, contenido de agua y contenido de cenizas.
- Ensayos completos según ISO 8217:2024 realizados por un laboratorio independiente especializado en análisis de combustibles.
- Análisis ICP-MS de la materia prima y del producto, para cuantificar la eliminación de metales e impurezas inorgánicas.

4.3. Ensayos de mezcla y motor

Se ha evaluado el comportamiento del combustible CLR puro y en mezcla con combustibles comerciales. Los ensayos incluyeron la preparación y mezcla de combustibles en distintas proporciones, ensayos de estabilidad, análisis de composición elemental, ensayos de combustión en unidad de investigación de combustión (CRU) y ensayos en un motor diésel de inyección directa Hatz.

4.4. Cálculo de emisiones

El ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero se calculó según la metodología establecida para los combustibles de carbono reciclado en la Directiva (UE) 2018/2001 de Energías Renovables, en su versión modificada por la Directiva (UE) 2023/2413, y en el Reglamento delegado (UE) 2023/1185. Este marco exige a los combustibles de carbono reciclado un ahorro mínimo del 70% frente a la referencia fósil.

5. Resultados

5.1. Calidad de combustible

Todas las pruebas piloto optimizadas realizadas hasta la fecha han producido un combustible que satisface los requisitos de la norma ISO 8217 para gasóleo marino de grado DMA. La actualización de la norma a la versión ISO 8217:2024 no modifica los requisitos clave aplicables a este producto.

El grado DMA es un combustible destilado, sin contenido residual, y es el grado de gasóleo marino de mayor calidad de uso habitual. Es apto para motores principales y auxiliares y cumple los límites de azufre de las Zonas de Control de Emisiones (ECA), fijados en el 0,10%. Por tanto, el combustible puede utilizarse como sustituto directo (drop-in) del gasóleo marino fósil, sin modificar motores ni infraestructuras de suministro.

5.2. Calidad de combustible

Aunque la norma ISO 8217 no lo exige, el proceso CLR elimina de forma muy eficaz las impurezas inorgánicas y los metales presentes en la materia prima. Tras el proceso dejan de detectarse el azufre, el vanadio, el níquel, el zinc, el cobre, el plomo, el arsénico, el molibdeno, el cobalto y el estaño, así como el sodio, el magnesio, el aluminio y el fósforo. Otros elementos se reducen en más de un 95% son hierro, calcio, cloro, cromo, titanio y potasio. El silicio se reduce un 78% y el antimonio, en torno a un 37%.

Los metales y demás impurezas eliminadas se concentran en el residuo sólido del proceso, lo que permite gestionarlos en una corriente reducida y controlada en lugar de dispersarlos en emisiones de combustión.

5.3. Mezclas y comportamiento en motor

Los ensayos independientes concluyeron que:

- El combustible CLR se mezcla bien con los combustibles comerciales en todas las proporciones de mezcla.
- Tanto las mezclas como el combustible CLR puro son química y físicamente estables, con poderes caloríficos similares a los del gasóleo marino y el diésel.

- Los ensayos en motor confirman la compatibilidad: no se observaron problemas de ignición, combustión ni emisiones.

- Los combustibles se mantienen estables durante más de 12 meses.

El combustible cumple además los criterios de aceptación de las navieras que lo utilizarán. Al proceder de residuos de combustibles marinos ya existentes, su perfil de riesgo para los operadores es menor que el de combustibles experimentales o de origen exclusivamente biogénico. En la práctica, se mezclará con gasóleo marino convencional durante el suministro.

5.4. Reducción de emisiones

El cálculo conforme a la Directiva de Energías Renovables y al Reglamento delegado (UE) 2023/1185 arroja un ahorro de emisiones del 80% frente a la referencia fósil, muy por encima del umbral mínimo del 70% exigido a los combustibles de carbono reciclado.

6. Contribución a la economía circular

Transformar los residuos oleosos MARPOL, o cualquier otra corriente de hidrocarburo líquido residual apta para el proceso, en un combustible certificado tiene un efecto directo: el residuo deja de ser un pasivo ambiental y pasa a ser un recurso energético. Se reduce la cantidad de residuos peligrosos en circulación, se evita la extracción de petróleo para producir el mismo volumen de combustible y se impulsa una industria de reciclado especializada que genera empleo técnico cualificado.

La producción de RCF cambia además el incentivo económico de fondo. Un residuo que hoy solo representa un coste de gestión se convierte en materia prima para un producto con valor comercial. Entregar el residuo en puerto para su transformación en combustible deja de ser un gasto que conviene minimizar y pasa a ser una operación que genera valor, lo que favorece su correcta entrega y gestión.

7. Conclusiones

- El proceso CLR transforma residuos oleosos MARPOL en un gasóleo marino conforme con la norma ISO 8217 (grado DMA), utilizable sin modificar motores ni infraestructuras.

- El proceso elimina la mayoría de los metales e impurezas de la materia prima y los concentra en un residuo sólido, lo que mejora la calidad del combustible y facilita la gestión de los contaminantes.

- Los ensayos independientes confirman la miscibilidad con combustibles comerciales, la estabilidad durante más de 12 meses y la compatibilidad en motor.

- El ahorro de emisiones calculado según la Directiva de Energías Renovables, del 80%, supera ampliamente el umbral mínimo del 70% para combustibles de carbono reciclado.

- La valorización de estos residuos como combustible crea un incentivo económico para su correcta gestión en puerto y ofrece una vía de descarbonización del transporte marítimo compatible con la flota actual.

8. Bibliografía

1. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA/UNEP) (2023): “Emissions Gas Report”.

2. Agencia Internacional de la Energía (2023): The Oil and Gas Industry in Net Zero Transitions.

3. Comisión Europea. (2023). Reglamento delegado (UE) 2023/1185 de la Comisión, de 10 de febrero de 2023. Diario Oficial de la Unión Europea, L 157.

4. International Organization for Standardization. (2024). ISO 8217:2024. Products from petroleum, synthetic and renewable sources — Fuels (class F) Specifications of marine fuels. ISO.

5. Organización Marítima Internacional. Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL), Anexo I. OMI.

6. Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2023). Directiva (UE) 2023/2413, de 18 de octubre de 2023, por la que se modifica la Directiva (UE) 2018/2001. Diario Oficial de la Unión Europea, L 2023/2413.

CONAMA 2026

De residuo a combustible: economía circular en el mar