

La Paradoja Latinoamericana de la Limpieza

El Conflicto Regulatorio que Pone en Riesgo su Inversión

Para el sector del transporte y la industria en México, Brasil, Chile, Colombia y el resto de la región, existe una profunda y costosa **incompatibilidad** entre lo que la ley exige a los motores y lo que permite en la calidad del combustible. Las autoridades de estos países demandan la adopción de la tecnología diésel más limpia del mundo, **siguiendo una tendencia global**, pero a la vez, toleran la venta de un combustible que es miles de veces más sucio de lo que esta tecnología puede soportar.

Esta paradoja no es solo un problema técnico; es un conflicto regulatorio que se traduce en **pérdidas millonarias** por fallas prematuras de equipos y un impacto negativo directo en el medio ambiente y la salud pública.

La Doble Realidad del Diésel Latinoamericano

HECHO # 1: La Ceguera Regulatoria ante la Contaminación Particulada

Resulta alarmante para cualquier usuario informado que el estándar ISO 4406 para la **limpieza del combustible diésel** (Contaminación Particulada) aún **no haya sido implementado** como una **regulación obligatoria** por ningún país latinoamericano.

La tendencia actual en la regulación de la calidad del diésel se enfoca en las especificaciones químicas y únicamente en **dos de los tres** contaminantes clave del combustible:

1. **Azufre:** La prioridad ha sido reducir el azufre a niveles de Ultra Bajo Azufre (DUBA o ULSD) en 15 partes por millón (ppm) o menos, lo cual es incuestionablemente necesario.
2. **Agua:** Todos los países establecen límites máximos para el contenido de agua.
3. **Contaminación Particulada:** En todos los países esta regulación es **completamente inexistente**, a pesar de la vasta documentación de los expertos y fabricantes OEM, y de los estándares internacionales vigentes ISO 4406 y WWFC (World-Wide Fuel Charter).

A manera de ejemplo, en México la Comisión Reguladora de Energía (CRE), a través de la NOM-016-CRE-2016, establece un límite para el contenido de agua, pero omite determinar un nivel máximo de contaminación particulada bajo estándares internacionales.

La consecuencia es que el diésel en el mercado latinoamericano presenta un nivel promedio de contaminación de **22/21/19** (que contiene entre 20,000 a 40,000 partículas sólidas mayores a 4 micrómetros por mililitro). Este nivel es **dos mil veces más sucio** que el nivel óptimo requerido por los inyectores de la maquinaria moderna.

Este **punto ciego** de las regulaciones estatales latinoamericanas deja el control de partículas sólidas en el diésel a la iniciativa particular: **La responsabilidad recae enteramente en el dueño de la flota o del activo industrial.**

HECHO # 2: La Obligación de Motores Hipersensibles

En contraposición a la laxitud en la calidad del combustible, la normativa Mexicana **NOM-044-SEMARNAT-2017** exige que los motores diésel de vehículos pesados nuevos que se vendan en México sean de tecnologías modernas y amigables con el medio ambiente, **Tier 4 o Euro VI**.

Pero esta obligación no es exclusiva de México. En Latinoamérica, el mandato de motores modernos amigables con el medioambiente es una tendencia irreversible:

- **Brasil** es uno de los líderes regionales en la adopción de la tecnología de emisiones más estrictas, implementando desde **2023** la normativa **Proconve P-8** equivalente a Euro VI para vehículos nuevos.
- **Chile** con el **Decreto Supremo N° 50 (2023) del Ministerio del Medio Ambiente** desde el **5 de enero de 2026 no permite** la inscripción ni comercialización de ningún camión o autobús diésel nuevo que no cumpla con el estándar **Euro VI** o su equivalente **EPA 2010**.
- **Colombia** se ha comprometido a exigir normas **Euro VI** equivalentes para todos los vehículos pesados nuevos, aunque con un horizonte posterior al de México y Brasil.
- **Argentina:** la **Resolución 546/2025** (que actualiza normativas previas de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable) mantiene **Euro V** como estándar mínimo obligatorio para vehículos pesados. Ya hay evaluaciones y propuestas para una transición a **Euro VI**.
- **Perú:** Exige el cumplimiento de la norma **Euro IV** (y **Tier 2 / EPA 2007**) para vehículos pesados, con una constante presión y discusión regulatoria para avanzar hacia la adopción de **Euro VI** en el futuro.
- **Costa Rica:** exige que los vehículos nuevos y usados livianos (de hasta 3,500 kg) que ingresen al país desde **enero de 2021** deben cumplir con **Euro 6** o **Tier III** o superior, lo cual precede a futuras regulaciones similares para vehículos pesados.
- **Maquinaria Móvil Fuera de Carretera:** Colombia y Chile también están regulando activamente las emisiones de la maquinaria pesada de sectores como construcción y minería (tractores, excavadoras, etc.), exigiendo estándares como **Tier 4 Interim (Tier 4i)** o **Stage IIIb/Stage IV**, lo que demuestra una tendencia regional hacia la limpieza en todo el sector diésel.

Nuestros países exigen tecnologías de motor avanzadas, exigencia necesaria sin ninguna duda, pero el **combustible no ha evolucionado a la misma velocidad** para garantizar la limpieza ultrabaja en partículas que estos sistemas necesitan para operar sin fallas.

El resultado es un riesgo de inversión regional

Tecnología Limpia y Costosa, Hipersensible a la Suciedad

Los motores ambientalmente amigables incorporan avanzados **sistemas de postratamiento** que logran **drásticos recortes de emisiones**. Para ello emplean sistemas de inyección de *Riel Común de Alta Presión* (HPCR) que operan a presiones extremadamente altas (hasta 45,000 psi ~ aprox. 3,100 bar), y componentes con **tolerancias microscópicas** tan estrechas como 1 micra (70 veces más delgadas que un cabello humano).

Debido a estos ajustes tan precisos, partículas de apenas 2 a 5 micras (del tamaño de un glóbulo rojo) son suficientes para erosionar o bloquear los componentes internos del sistema, como válvulas y toberas.

La contaminación particulada del combustible es **el principal enemigo** de estas tecnologías:

1. **Abrasión y Erosión:** El daño primario y más costoso ocurre en el **Sistema de Inyección (HPCR)**, las partículas duras actúan como lija a las altas presiones, causando desgaste erosivo en las bombas de alta presión y en las toberas de los inyectores.
2. **Fallas Críticas Prematuras:** El daño a estos componentes de precisión altera el patrón de pulverización del combustible, llevando a una combustión deficiente, aumento de las emisiones, pérdida de potencia y, en última instancia, a la **falla total del sistema de inyección** mucho antes de su vida útil esperada; que a su vez genera fallos secundarios en los cuatro sistemas de postratamiento de emisiones (DPF, EGR, SCR y DOC).
3. **Fallas en cascada:** la contaminación particulada ataca primero al **corazón del motor** y posteriormente provoca una cascada de fallas en los sistemas de emisiones:
 - I. **DPF (Filtro de Partículas Diésel):** es el filtro que atrapa el hollín en las emisiones del motor. La combustión incompleta generada por los inyectores desgastados (fallo HPCR) produce una cantidad excesiva de hollín, **saturando el DPF** mucho más rápido de lo diseñado. Esto obliga a realizar regeneraciones más frecuentes, con incremento de consumo de combustible y mayor tiempo de inactividad del activo. Finalmente, el hollín se acumula y tapa el DPF de forma **irreversible**, acortando su vida útil hasta 8 veces (ver Anexo 3.2). El DPF debe ser retirado para una limpieza profunda (ej: ultrasonido) o, eventualmente, reemplazado, siendo uno de los componentes **más costosos**.
 - II. **EGR (Recirculación de Gases de Escape):** El aumento de hollín en los gases de escape por combustión deficiente (fallo HPCR), provoca en el **enfriador EGR** y la **válvula EGR** una obstrucción (por acumulación excesiva) que restringe su flujo, impidiendo que el sistema controle la temperatura de combustión. Esto resulta en **altas temperaturas** y un aumento dramático en las emisiones de NO_x, activando códigos de diagnóstico y fallas de **torque (reducción de potencia)**, lo que a su vez promueve un incremento general en el consumo de combustible.

III. SCR (Reducción Catalítica Selectiva) y DOC (Catalizador de Oxidación Diésel):

La inyección deficiente (fallo HPCR) produce **hidrocarburos no quemados** y exceso de **hollín**, que son arrastrados a los gases de escape y recubren la superficie del catalizador (DOC y SCR) **neutralizando** su acción química, lo que se traduce en altos niveles de NO_x y un fallo indirecto —pero crucial— al interferir con la pulverización de urea (DEF/AdBlue), reduciendo drásticamente su eficacia.

4. **Compra excesiva de insumos consumibles:** Por efecto de la contaminación extrema, el aceite de motor y los filtros originales a bordo de aceite y de combustible se remplazan prematuramente, en intervalos entre dos a diez veces más frecuentes que en mercados con diésel limpio. El mismo consumo de combustible sufre un incremento de 5% hasta 17% como consecuencia de la pérdida de potencia del motor, causada por inyección deficiente, desgaste acelerado de componentes, lubricación deficiente y contrapresión en el flujo de emisiones.

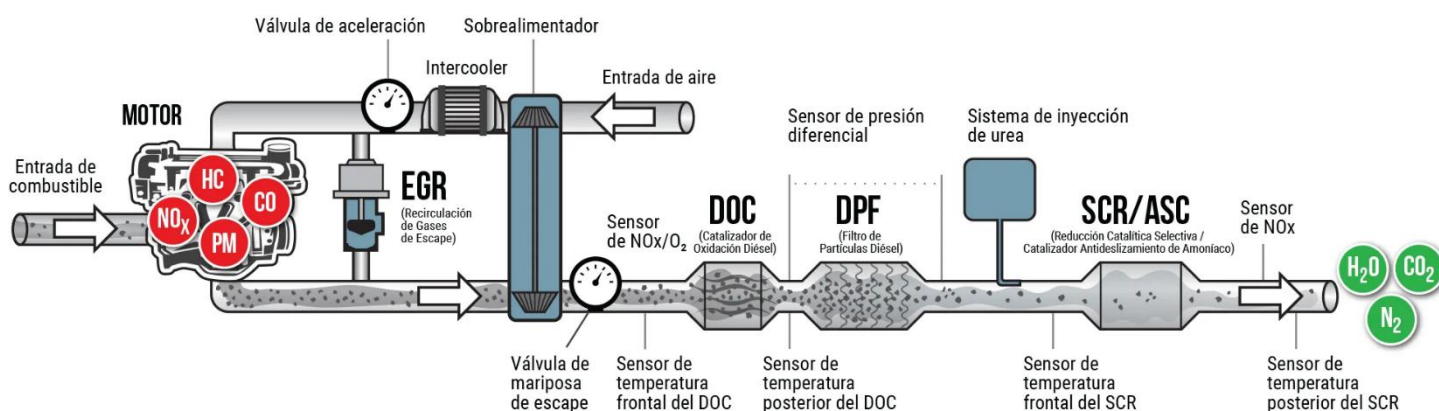


Gráfico – Sistemas de postratamiento de emisiones

La Problemática: Inversión Destruida

La carencia regulatoria del control de contaminación particulada del diésel y la obligatoriedad de uso de motores con tecnologías modernas, son dos hechos **absolutamente incompatibles**: los sectores industriales están **forzados** a invertir en motores de última generación que, con el diésel regional extremadamente sucio, se enfrentan a una vida útil **drásticamente reducida**.

Esta situación se resume en la fórmula:

Motores Caros + Combustible Muy Sucio = Pérdida Cuantiosa

Los dueños de los motores se ven indefensos ante fallas tempranas de inyectores, bombas y otros componentes, asumiendo cuantiosas pérdidas por reparación, refacciones de alto costo y, lo más crítico, **tiempo de inactividad** de la maquinaria.

La Solución: Inversión Estratégica

La respuesta a la compleja paradoja Latinoamericana es sorprendentemente simple:

Limpiar el diésel a un nivel igual o superior a los requerimientos de los fabricantes.

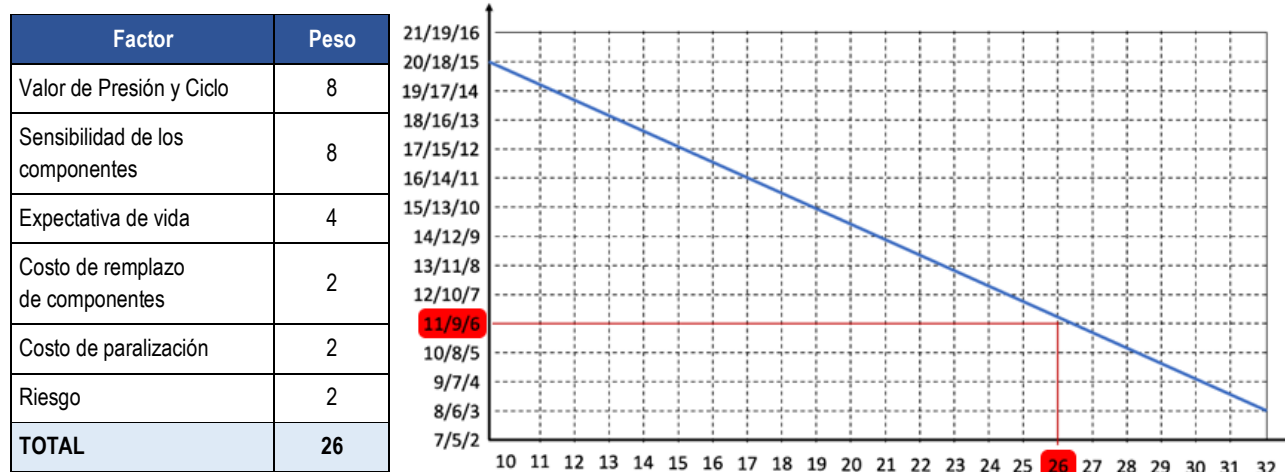
Frente a la inacción regulatoria, la única forma efectiva y comprobada de proteger los activos es a través de una inversión estratégica en **limpieza efectiva y proactiva: Diésel Ultra Limpio.**

Diésel Ultra Limpio (UL) — Máxima Protección

Sabemos que los sistemas de inyección diésel han evolucionado, trabajan con presiones por arriba de 2,462 bar (36,000 psi) haciendo que sean muy sensibles a las partículas sólidas suspendidas en el combustible. Resulta **imprescindible definir un nivel óptimo de limpieza.**

¿Cuál es el nivel óptimo de limpieza?

El **Nivel Requerido de Limpieza (RCL)** de un sistema de inyección de combustible de alta presión con riel común (HPCR) se determina según las condiciones de operación del sistema, ajustando los factores de vida deseada y el costo de reparación a una máquina crítica por su función; anotando los criterios de peso para cada uno de los factores en el estándar ISO 12669 (*Method for determining the required cleanliness level of a system*) para obtener un valor ponderado:



Nivel requerido de limpieza: 11/9/7 (código de contaminación particulada ISO 4406)

Este establecimiento de los límites para la limpieza del combustible es una tarea que involucra un razonamiento: **Entender por qué es importante que el combustible esté limpio, y definir qué realmente significa limpio, y qué significa sucio:**

Fuente: **NORIA** Latinoamérica
 – *Los beneficios del diésel Limpio y el debate de los límites* –

Limpio significa 11/9/7 o menor
Sucio es un combustible sobre 11/9/7

¿Cómo obtengo el nivel óptimo de limpieza?

Solo las tecnologías de filtración de alta eficiencia garantizan una **limpieza óptima 11/9/7 o mejor** (que significa prácticamente nula contaminación), superando la suciedad promedio **22/21/19** del mercado latinoamericano con un diésel **dos mil veces más puro**.

Diésel Ultra Limpio (UL) — Beneficios inmediatos y significativos

Beneficios	Descripción y Resultado
Técnico	Extensión de la Vida Útil de inyectores, bombas HPCR, sistemas de postratamiento y filtros a bordo, reduciendo el desgaste.
Económico	Retorno de Inversión (ROI) superior al 1,500% al evitar reparaciones costosas, disminuir el consumo de combustible, disminuir el consumo de insumos de uso frecuente, y el tiempo de inactividad no planificado.
Ambiental	Disminución de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (CO₂), Black Carbon (forzador climático de corto plazo) y menor generación de residuos peligrosos (Aceite Lubricante Usado–ALU, otros) gracias a un entorno limpio de operación, con una combustión más eficiente.
Salud Pública	Eliminación del material particulado (Partículas PM – hollín) y reducción de gases de alta toxicidad (CO, HC, NO_x) expulsados por el motor, protegiendo a trabajadores y comunidades.

Conclusión

Latinoamérica exige motores del futuro con el combustible del pasado. Esta dicotomía está arruinando la rentabilidad de las flotas y comprometiendo la inversión en tecnología limpia. La única defensa es tomar el control absoluto de la limpieza del diésel en la cadena de suministro y custodia, protegiendo los motores y garantizando que se obtenga la vida útil y la eficiencia para la cual fueron diseñados.

Cada gota de diésel sucio es dinero tirado... y esto no tiene por qué ser la norma.

Motores Modernos + Diésel Ultra Limpio = ROI sobre 1,500%

Referencias:

- [ISO 4406:2021](#) — *Hydraulic fluid power — Fluids — Method for coding the level of contamination by solid particles.*
- [ISO 12669](#) — *Method for determining the required cleanliness level of a system.*
- [WWFC](#) — *World-Wide Fuel Charter, 6th Edition, 2019.*
- [NORIA Latinoamérica](#) – *Los beneficios del diésel limpio y el debate de los límites.*
- [NOM-016-CRE-2016](#) — *Especificaciones de calidad de los petrolíferos.*
- El video [NOM 016 CRE 2016 Proceso de verificación y no conformidades más comunes](#) proporciona contexto sobre la normativa mexicana NOM-016-CRE-2016 mencionada en este documento, en relación con la calidad del combustible.
- [NOM-044-SEMARNAT-2017](#) — *Que establece los límites máximos permisibles de emisión de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no metano, hidrocarburos no metano más óxidos de nitrógeno, partículas y amoníaco, provenientes del escape de motores nuevos que utilizan diésel como combustible y que se utilizarán para la ¹propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos, así como del escape de vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos equipados con este ²tipo de motores.*
- [Proconve P-8](#) — *Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Brasil), fase P-8 (equivalente a Euro VI para veículos novos a diesel).*
- [EPA Tier 4 Final](#) — *Emission Standards for Nonroad Diesel Engines (EUA).*

– SECCIÓN DE ANEXOS –

En motores **Euro VI** la contaminación por partículas sólidas y agua no debe ser vista como un problema aislado del sistema de combustible; debe entenderse como un **detonador sistémico** que ataca primero al **corazón del motor** y posteriormente provoca una cascada de fallas en los sistemas de postratamiento de emisiones:

- acelera el desgaste del HPCR
- genera más depósitos en la EGR
- satura y envejece el DPF
- desestabiliza el DOC
- compromete la eficacia de SCR/ASC

El drástico perjuicio acumulativo es técnico, económico, ambiental y sanitario:

- **Técnico:** pérdida de eficiencia, pérdida de potencia (derates), fallas recurrentes, reducción de vida útil y aumento del wear rate.
- **Económico:** más combustible consumido, más repuestos, más paros, más DEF, más aceite, más limpiezas, más TCO (Costo Total de Propiedad).
- **Ambiental y sanitario:** más NO_x, más PM y Black Carbon real, más CO₂ por sobreconsumo, más exposición poblacional con incremento de mortalidad.

Cuando los costos internos se vuelven insostenibles, algunas operaciones caen en la tentación del *bypass* informal o del *downgrade* electrónico, que cambia costo visible por costo oculto: **más contaminación, riesgo legal, deterioro del activo y pérdida de valor reputacional.**

Presentamos ahora un **estudio detallado** de los perjuicios en los sistemas de postratamiento.

Daños por contaminación en los sistemas diésel modernos

Marco técnico común de comparación

- Para todos los anexos se adopta la siguiente comparación operacional:

Escenario A: diésel contaminado

- ISO 4406 **22/20/18** o peor
- presencia de agua libre y/o emulsionada
- mayor variabilidad de combustión
- mayor carga de hollín, depósitos y desgaste

Escenario B: diésel ultra limpio

- ISO 4406 **11/8/7** o mejor
- agua rigurosamente controlada
- protección de tolerancias críticas
- menor generación de PM en origen
- menor carga sobre sistemas postratamiento – *aftertreatment*

NOTA: El estándar **ISO 4406** existe precisamente porque la contaminación sólida particulada en fluidos causa problemas serios de funcionamiento y vida útil; y fabricantes/operadores de motores diésel modernos han endurecido las exigencias de limpieza a medida que aumentó la presión de inyección y la complejidad del postratamiento. (1) (2) (3)

ANEXO 1. Daños por diésel contaminado en: Sistema de inyección HPCR (High Pressure Common Rail)

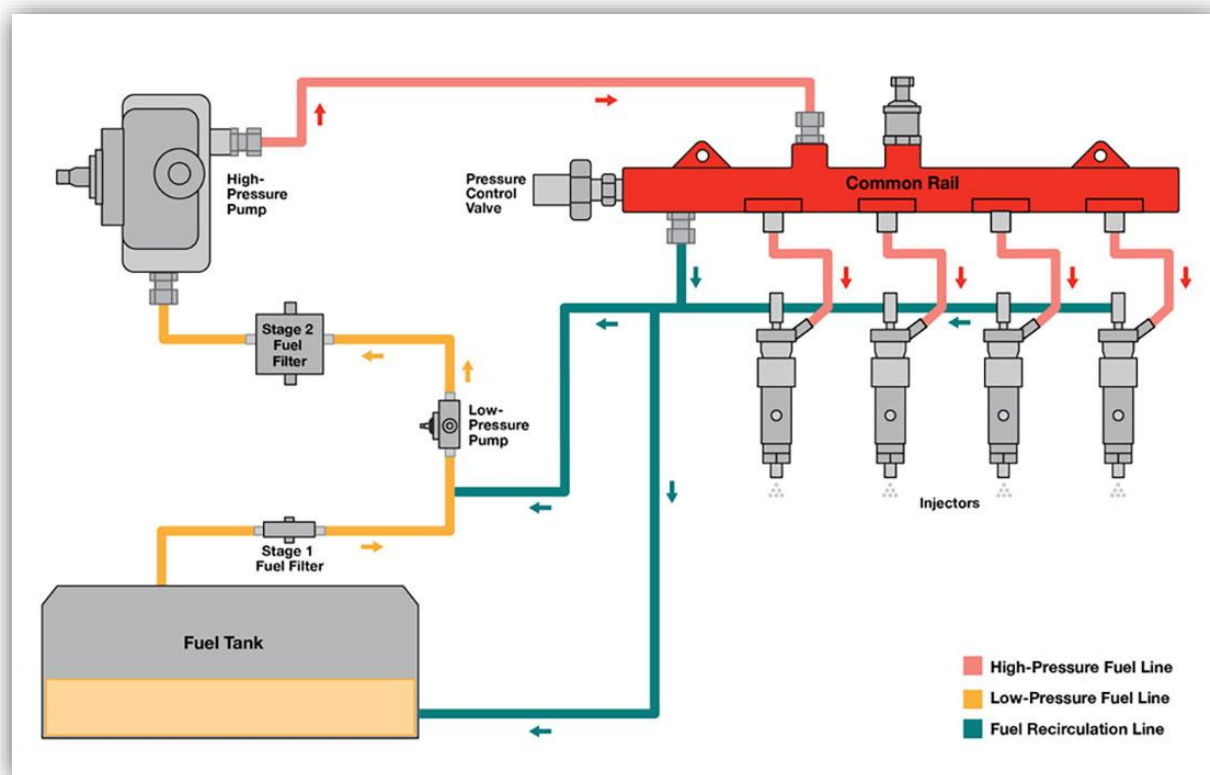


Diagrama HPCR

1. Función crítica y sensibilidad

El sistema HPCR dosifica el combustible con altísima precisión temporal y volumétrica. Bosch reporta presiones de inyección del orden de hasta 2,050 bar en common rail, lo que explica por qué la limpieza del combustible se volvió crítica: pequeñas partículas o agua destruyen pares de precisión, desestabilizan el patrón de pulverización y degradan la combustión. (1) (2)

2. Detonador tribológico del daño

Desde tribología, el detonador principal es la combinación de:

- abrasión de tres cuerpos por partículas duras
- erosión por impacto en orificios/aguja
- pérdida de película lubricante por agua
- corrosión y micropitting
- fricción límite en superficies lapeadas

La evidencia científica resume el problema de forma clara: La contaminación particulada del combustible es la causa principal de desgaste en sistemas de inyección diésel. El agua es otra causa primaria de fallas de bombas e inyectores porque desplaza la película lubricante del combustible sobre componentes de alta precisión. (1-2-3-4-5-6-7-8-9-10)

3. Etapas progresivas del daño

Etapa 1: degradación metrológica

- aumento de fricción interna
- pequeñas fugas internas
- alteración de tiempos de respuesta del inyector
- microdistorsión del patrón de atomización

Etapa 2: degradación funcional

- goteo, sobreinyección o subinyección
- peor atomización
- combustión más lenta o incompleta
- aumento de PM en origen
- pérdida de potencia y aumento de consumo

Etapa 3: daño acumulativo

- erosión de toberas y asiento
- desgaste de bomba de alta
- mayor retorno de combustible
- desbalance entre cilindros
- incremento de blow-by y dilución del lubricante

Etapa 4: falla mayor

- inyector pegado o fuera de calibración
- caída severa de presión rail
- misfire, humo, pérdida de arranque
- riesgo de daño pistón/cilindro por mala combustión

NOTA: Toda la literatura técnica e industrial coincide en que sistemas common rail a alta presión son especialmente sensibles a partículas y agua. [\(1\)](#) [\(2\)](#) [\(3\)](#)

4. Perjuicio técnico: diésel contaminado vs ultra limpio

Con diésel 22/20/18 o peor:

- mayor desgaste en bomba e inyectores
- mayor deriva de caudal
- peor calidad de combustión
- mayor generación de hollín
- mayor sensibilidad a fallas intermitentes y pérdida de potencia

Con diésel 11/8/7 o mejor:

- dosificación más estable
- mejor atomización
- menor PM en origen
- menor carga hacia EGR/DPF/DOC/SCR
- protección de tolerancias y vida útil

Esto se alinea con el modelo FMS de 4 etapas de pérdida de potencia [\(1\)](#), “mala dosificación” como primera etapa de pérdida de potencia, con impacto de hasta 5% en consumo diésel.

5. Perjuicio económico

Cuando HPCR trabaja con combustible contaminado, los costos se multiplican por:

- recambio prematuro de inyectores
- reparación o sustitución de bomba de alta
- horas de paro
- pérdida de productividad por baja potencia
- mayor consumo de combustible
- mayor arrastre de fallas secundarias al postratamiento

6. ROI positivo estimado del diésel ultra limpio

Estimación indicativa* para flotas de alta utilización:

- ROI típico: **3 a 12 meses**
- motor con alta exigencia y combustible históricamente sucio: **muy favorable**
- la recuperación suele venir por evitar una sola intervención mayor de inyección + ahorro de combustible

* No es una cifra universal; depende de horas/año, consumo, costo del diésel y severidad del baseline.

7. Perjuicio ambiental y sanitario

La degradación del HPCR incrementa:

- PM primario
- HC y CO por combustión incompleta
- CO₂ por mayor consumo específico
- carga de hollín hacia DPF

Eso agrava tanto la huella climática como la contaminación local.

8. Bypass y desactivación informal

En HPCR el “bypass” suele ser menos visible, pero existe:

- anulación de diagnósticos
- calibraciones no homologadas para “esconder” desbalance
- operación continua con inyectores fuera de tolerancia
- anulación de alarmas o protección electrónica

Consecuencia: el motor sigue operando, pero convierte un problema corregible en destrucción acelerada de capital.

ANEXO 2. Daños por diésel contaminado en: EGR (Exhaust Gas Recirculation)

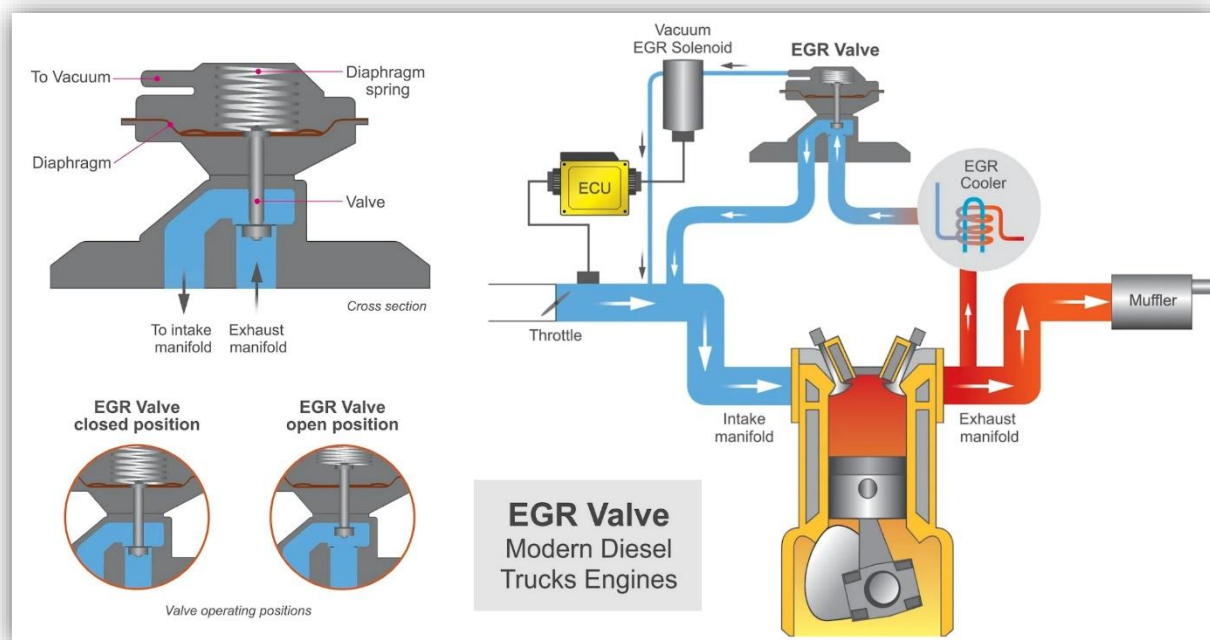


Diagrama EGR

1. Función crítica

Con el fin de reducir los contaminantes de los gases de escape diésel –específicamente reducir las emisiones de óxido de nitrógeno (NOx), que contribuyen a la contaminación atmosférica– alrededor del año 2007 se implementó el concepto del sistema de recirculación de gases de escape (EGR) en todos los camiones diésel, de acuerdo con las regulaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).

La EGR reduce NOx al recircular una parte del escape hacia admisión y disminuir la temperatura pico de combustión. Pero esa misma función la vuelve muy vulnerable a hollín, alquitrán, condensados y depósitos. EGR reduce NOx, pero tiende a aumentar la propensión a hollín/black carbon si la combustión y el sistema no están bien controlados. (1)

2. Detonador tribológico y funcional del daño

El combustible contaminado no daña la EGR “*por contacto directo*” solamente; la daña sobre todo al empeorar combustión:

- mayor PM en origen
- mayor fracción de hollín recirculada
- depósitos en válvula EGR, enfriador y conductos
- restricción de flujo
- trabamiento de mecanismos y sensores

3. Etapas progresivas del daño

Etapa 1

- depósito superficial
- respuesta más lenta de válvula
- desvío leve del caudal EGR objetivo

Etapa 2

- ensuciamiento de enfriador
- menor intercambio térmico
- descontrol térmico local
- drift de sensores / actuadores

Etapa 3

- apertura/cierre incompleto
- mapa de combustión fuera de diseño
- aumento simultáneo de consumo, humo y NOx

Etapa 4

- atasco, fugas o anulación de funcionamiento
- emisiones reales muy por encima del diseño
- falla de drivability / derate / modo de emergencia

4. Comparativo técnico

Con diésel contaminado:

- la EGR se ensucia antes
- pierde estabilidad de control
- contribuye a más hollín en aceite
- incrementa la frecuencia de limpiezas

Con diésel ultra limpio:

- menor ensuciamiento
- mayor estabilidad termoquímica
- menor contribución a hollín en cárter
- menor costo correctivo

5. Perjuicio económico

- limpiezas frecuentes de válvula y enfriador
- reemplazo de actuadores y sensores
- mayor consumo por descalibración
- pérdida de disponibilidad
- mayor desgaste indirecto del motor por más hollín y mayor dilución del aceite

6. ROI estimado

ROI indicativo del diésel ultra limpio en EGR:

- **4 a 14 meses**
- más rápido en operación urbana severa, ciclos de carga variable y equipos con historial de ensuciamiento

7. Perjuicio ambiental y sanitario

Una EGR degradada:

- aumenta NOx si deja de recircular lo correcto
- puede también aumentar PM por combustión subóptima
- empeora la calidad del aire urbano y la exposición respiratoria

La motivación original de las normas Euro fue justamente reducir contaminantes como NOx y PM por sus efectos en salud pública y ambiente. [\(1\)](#) [\(2\)](#)

8. Bypass y downgrade

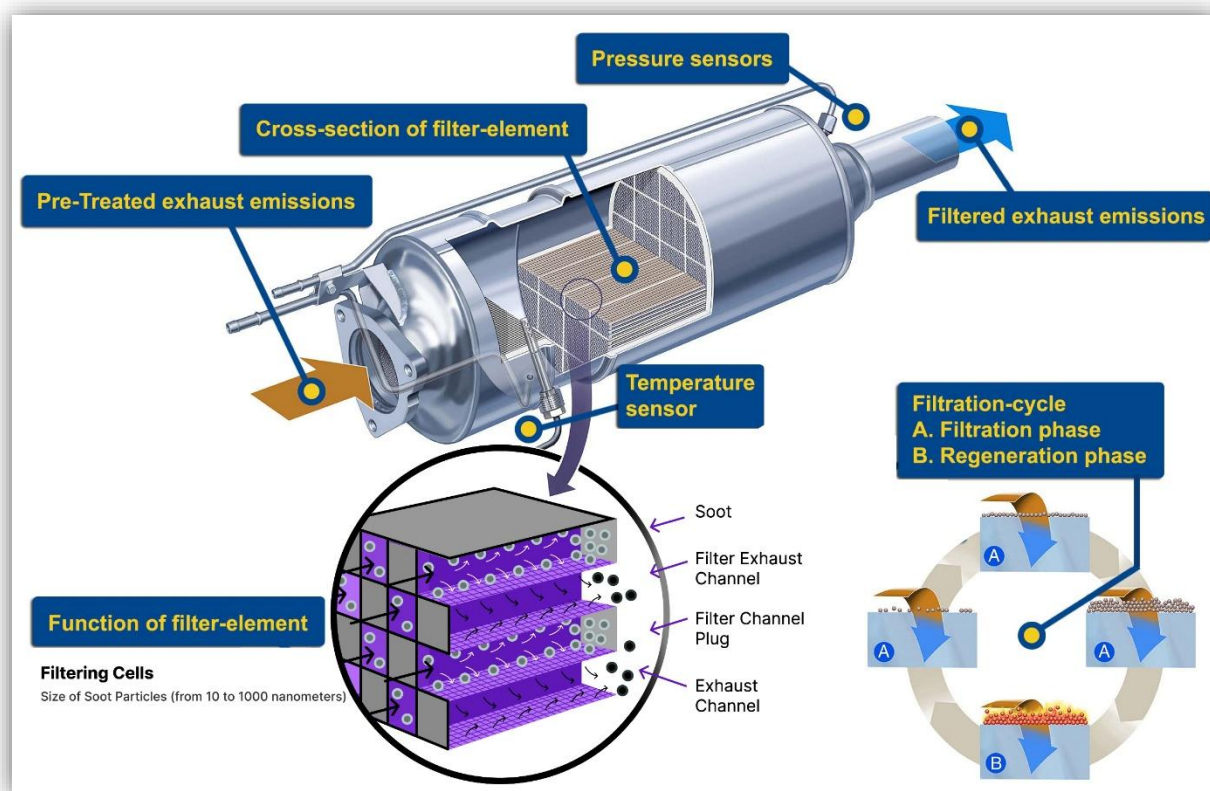
La desactivación informal de EGR suele ocurrir cuando los costos recurrentes suben demasiado. A alto nivel, las prácticas observadas en enforcement incluyen:

- componentes “delete”
- reprogramaciones no homologadas
- anulación electrónica del diagnóstico
- simulación de señales para evitar códigos

EPA documenta expresamente partes de “EGR delete” y otros defeat devices como formas de tampering ilegal. [\(1\)](#) [\(2\)](#) [\(3\)](#)

Efecto del downgrade: no siempre existe una equivalencia exacta “Euro VI pasa a Euro III”, pero funcionalmente el motor se comporta como un vehículo con control de NOx degradado o pre-control avanzado. En términos de emisiones reales, eso puede llevarlo a niveles de generaciones anteriores o incluso pre-Euro según el tipo de manipulación. [\(1\)](#)

ANEXO 3.1. Daños por diésel contaminado en: DPF (Diesel Particulate Filter)



1. Función crítica

El DPF captura la fracción sólida del material particulado. Cummins reporta que DPF + DOC pueden remover alrededor de **99% del PM soot** (material particulado de hollín) en la línea de escape cuando el sistema funciona correctamente. (1)

2. Detonador técnico del daño

El combustible contaminado aumenta PM en origen por:

- mala atomización
- combustión incompleta
- mayor deriva de inyectores
- más blow-by y aceite degradado

Eso provoca:

- carga acelerada de hollín
- mayor contrapresión – *backpressure*
- regeneraciones más frecuentes
- mayor envejecimiento térmico y mecánico del sustrato

3. Etapas progresivas del daño

Etapa 1

- aumento gradual de carga
- elevación de backpressure
- leve pérdida de potencia

Etapa 2

- regeneraciones más frecuentes
- mayor penalización de combustible
- mayor estrés térmico

Etapa 3

- acumulación de cenizas y depósitos no combustibles
- caída de capacidad útil
- regeneraciones ineficaces o incompletas

Etapa 4

- fisuras, fusión localizada, taponamiento severo
- derate
- necesidad de limpieza profunda o reemplazo

El modelo FMS identifica la saturación prematura del DPF como una de las cuatro etapas de pérdida de potencia [\(1\)](#), con impacto de hasta 2% en consumo.

4. Comparativo técnico

Con diésel contaminado:

- mayor frecuencia de regeneración
- mayor backpressure
- mayor consumo de combustible [\(1\)](#)
- menor vida del filtro
- mayor riesgo de daño térmico

Con diésel ultra limpio:

- menor PM en origen
- intervalos de regeneración más largos
- menor castigo térmico
- mayor vida útil del DPF

Estudios recientes muestran que la regeneración del DPF puede afectar economía de combustible y emisiones en esos eventos; por eso disminuir su frecuencia tiene un valor energético real. [\(1\)](#) [\(2\)](#)

NOTA: el **ANEXO 3.2** analiza con criterio técnico riguroso la regeneración del DPF.

5. Perjuicio económico

- limpiezas de DPF más frecuentes
- paradas no programadas
- reemplazo prematuro
- mayor consumo por regeneración frecuente y backpressure [\(1\)](#)
- caída de productividad por derate (pérdida de potencia)
- mayor TCO de escape

6. ROI estimado

ROI indicativo del diésel ultra limpio en DPF:

- **6 a 18 meses**
- más rápido en aplicaciones urbanas, minería con ralentí, puertos, distribución y ciclos stop-go

7. Perjuicio ambiental y sanitario

Si el DPF se degrada o deja de funcionar:

- se dispara el PM real
- aumenta black carbon
- aumenta exposición a PM2.5 y riesgos respiratorios/cardiovasculares

EPA destaca que NOx y PM de motores diésel pesados contribuyen a mortalidad prematura, daño respiratorio, cerebrovascular y cardiovascular, bronquitis crónica, reducción de función pulmonar y mayor incidencia de cáncer de pulmón. [\(1\)](#)

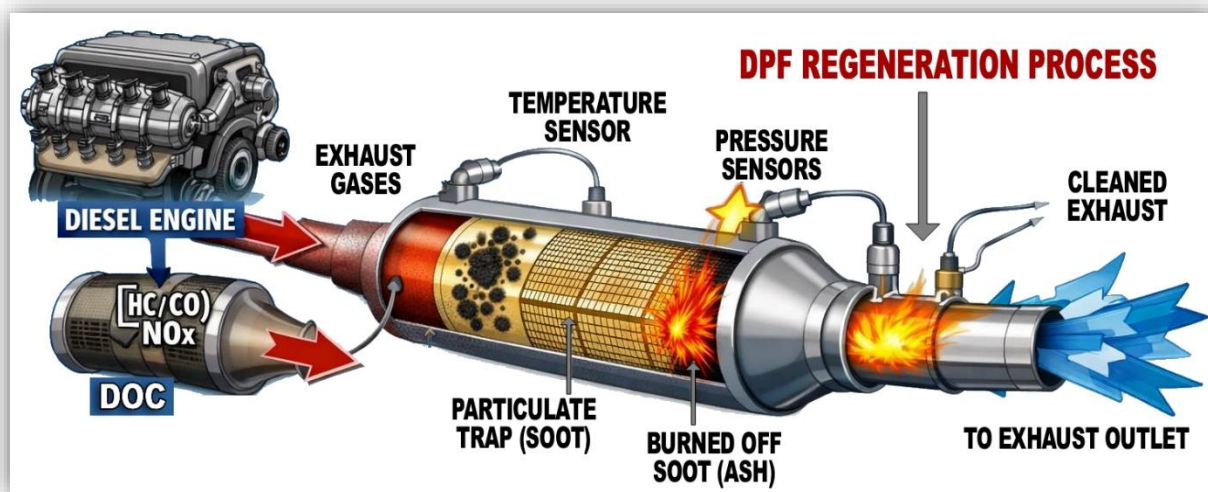
La evidencia científica/médica desde 2010 es concluyente (fuera de debate): no existe umbral seguro de exposición para PM. [\(1\)](#) [\(2\)](#)

8. Bypass y downgrade

La eliminación del DPF es una de las formas más comunes de manipulación ilegal. EPA ha documentado productos y kits para remover físicamente componentes del escape y anular la estrategia electrónica.

- **Consecuencia técnica:** baja la contrapresión, el usuario siente “mejor respuesta”, pero a costa de disparar PM real.
- **Consecuencia regulatoria y ambiental:** el vehículo deja de comportarse como un sistema moderno de bajas emisiones y puede acercarse a un desempeño equivalente a generaciones mucho más antiguas en PM.
- **No corresponde explicar mecanismos prácticos de ejecución**, pero sí dejar claro que estas prácticas son ilegales y dañinas.

ANEXO 3.2. Refinación específica por diésel contaminado: Cálculo de ciclos de regeneración DPF por mes



Para los motores **Euro VI** la regeneración “contable” por mes es la **regeneración activa**. La regeneración pasiva ocurre en segundo plano durante operación sostenida a alta temperatura donde, camiones con recorridos de larga distancia pueden llegar a evitar eventos activos en algunos trayectos. El tercer tipo de regeneración “forzada” (en taller) no es objeto del estudio.

Para este apartado usaremos una estimación de ingeniería calibrada con datos de campo y una base de cálculo por recorrido típico mensual de un tractocamión de larga distancia.

Tomamos como referencia 127,600 km/año, que equivale a 10,633 km/mes.

Fórmula usada:

Regeneraciones activas por mes = km mensuales / km entre regeneraciones activas

Supuestos de modelado: tres escenarios ISO 4406 de limpieza de combustible:

- **Ultra limpio 11/8/7**: extremo favorable long-haul, con fuerte apoyo de regeneración pasiva
- **Límite OEM 18/16/13**: operación aceptable, pero ya con mayor producción de hollín y más eventos activos
- **Alta contaminación 22/20/18**: operación con sobrecarga de hollín claramente superior, aún en ruta

A) Resultado: Escenarios de regeneración activa del DPF por mes

1. Diésel ultra limpio – ISO 11/8/7 o mejor

Supuesto de intervalo activo: 4,000 km por regeneración activa

Justificación: coherente con duty cycle long-haul favorable y con el extremo alto del rango de campo observado en camiones pesados; además, en larga distancia puede predominar la regeneración pasiva.

Cálculo: $10,633 / 4,000 = 2.66$

Estimación: aprox. 2.7 regeneraciones activas por mes

Lectura ejecutiva: entre 2 y 3 regeneraciones activas al mes.

2. Diésel en límite máximo OEM – ISO 18/16/13

Supuesto de intervalo activo: 1,500 km por regeneración activa

Justificación: sigue dentro de operación funcional, pero ya muy lejos del desempeño de un combustible ultra limpio; es consistente con una zona media del rango real de campo para camiones pesados.

Cálculo: $10,633 / 1,500 = 7.09$

Estimación: aprox. 7.1 regeneraciones activas por mes

Lectura ejecutiva: entre 7 y 8 regeneraciones activas al mes.

3. Diésel altamente contaminado – ISO 22/20/18

Supuesto de intervalo activo: 500 km por regeneración activa

Justificación: sigue dentro de una envolvente técnicamente defendible con base en datos reales y en la literatura de regeneración frecuente; además, queda por encima del caso extremo real de 130 km observado en otro estudio, por lo que no es una suposición “sensacionalista”.

Cálculo: $10,633 / 500 = 21.27$

Estimación: aprox. 21.3 regeneraciones activas por mes

Lectura ejecutiva: entre 21 y 22 regeneraciones activas al mes.

B) Estimación de pérdida de vida útil del DPF

Definición precisa: no se contempla la vida por cenizas solamente, sino la vida útil térmica y funcional del DPF frente a ciclos activos repetidos de regeneración, que elevan temperatura, castigan el sustrato, aumentan estrés térmico y aceleran el envejecimiento del sistema. La literatura técnica y la práctica OEM reconocen que la frecuencia de regeneración y la carga de hollín/ceniza afectan durabilidad, presión diferencial y mantenimiento del DPF.

Se toma el escenario diésel ultra limpio como referencia de vida relativa = **1.0x**

1. ISO 11/8/7

Regeneraciones/mes: **2.7**

Vida relativa estimada del DPF: 1.0x

Pérdida de vida útil: **referencia base**

2. ISO 18/16/13

Regeneraciones/mes: **7.1**

Relación vs ultra limpio: $7.1 / 2.7 = 2.67$

Estimación:

Con diésel 18/16/13 el DPF envejece térmicamente unas **2.7 veces** más rápido.

Vida relativa estimada: 0.37x frente al diésel ultra limpio

Lectura ejecutiva:

el DPF podría perder aproximadamente **63% de vida relativa** frente al escenario 11/8/7.

Dicho de otra forma, su vida útil podría quedar en alrededor de un tercio del caso ultra limpio si el resto de las variables se mantiene comparable.

3. **ISO 22/20/18**

Regeneraciones/mes: **21.3**

Relación vs ultra limpio: $21.3 / 2.7 = 8.0$

Estimación:

el DPF envejece térmicamente unas **8 veces** más rápido.

Vida relativa estimada: 0.125x frente al caso ultra limpio.

Lectura ejecutiva:

el DPF podría perder alrededor de **87.5% de vida relativa** frente al escenario 11/8/7.

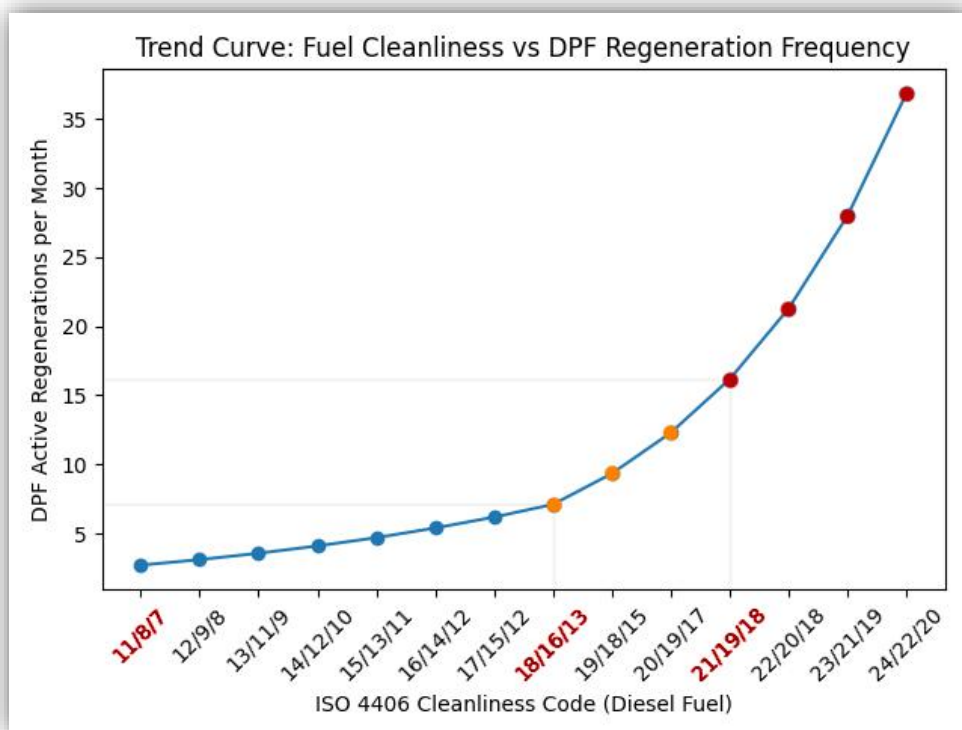
C) Tabla ejecutiva resumida

Escenario	ISO 4406 diésel	km entre reg. activas DPF	regeneraciones activas/mes	Pérdida vida DPF	Aceleración desgaste DPF
Ultra limpio	11/8/7	4,000 km	2.7	0%	1x
Aceptable	14/12/10	2,500 km	4	- 34%	1.5x
Límite OEM	18/16/13	1,500 km	7	- 63%	2.6x
No aceptable	19/18/15	1,200 km	9	- 71%	3.5x
Muy sucio	20/19/17	950 km	12	- 78%	4.6x
Muy sucio	21/19/18	720 km	16	- 83.3%	6x
Cont. Extrema	22/20/18	500 km	21	- 87.5%	8x
Cont. Extrema	23/21/19	315 km	28	- 90.4%	10x
Cont. Extrema	24/22/20	240 km	37	- 92.7%	14x

D) Hallazgo clave para dirección de mantenimiento y finanzas

En un mismo camión Euro VI de larga distancia, pasar de un diésel ultra limpio 11/8/7 a un diésel 22/20/18 puede mover la operación **desde 2–3 regeneraciones activas al mes hasta más de 20 regeneraciones activas mensuales**, con una penalización de vida térmica del DPF del orden de **8 veces**.

E) Curva de tendencia ISO 4406 vs regeneraciones activas del DPF /mes



Interpretación rápida del gráfico:

- La relación entre **contaminación del diésel y regeneraciones del DPF es exponencial**.
- A partir de aproximadamente **ISO 18/16/13** aparece un **punto de inflexión** donde la frecuencia de regeneraciones aumenta rápidamente.
- En escenarios \geq **ISO 21/19/18** el DPF entra en un régimen de **regeneraciones frecuentes**, lo que implica:
 - mayor consumo de combustible
 - mayor estrés térmico del DPF
 - aceleración del envejecimiento del sustrato
 - aumento del TCO del sistema de postratamiento
- Las curvas de índice de impacto económico mensual y de envejecimiento relativo del DPF vs limpieza del diésel tienen exactamente el mismo **comportamiento exponencial**

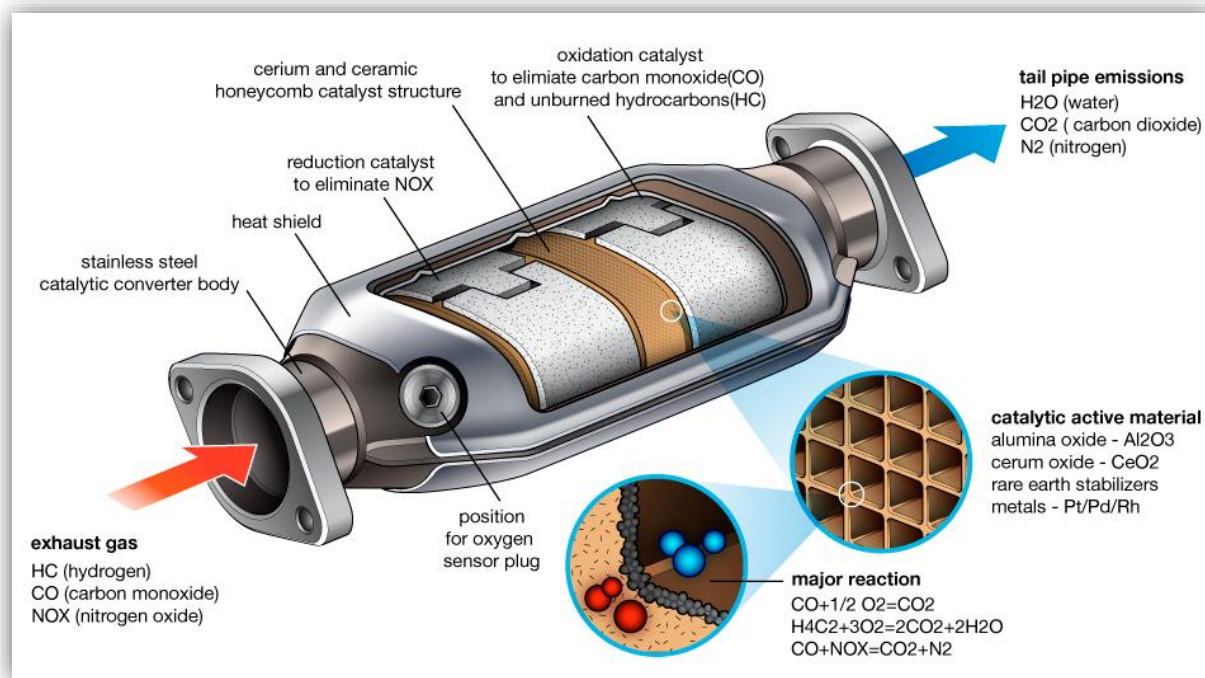
Mensaje ejecutivo:

Una pequeña degradación en la limpieza del combustible puede provocar un aumento desproporcionado en la frecuencia de regeneraciones del DPF, multiplicando el estrés térmico del sistema y acelerando exponencialmente su desgaste.

E) Referencias

- Frecuencia real de regeneración en camiones pesados: [LINK](#)
- Estudio experimental sobre regeneración y consumo durante eventos: [LINK](#)
- Regeneración pasiva en camiones de larga distancia: [LINK](#)
- Explicación técnica de regeneraciones y factores operacionales: [LINK](#)
- Impacto de la carga de partículas en durabilidad del DPF: [LINK](#)

ANEXO 4. Daños por diésel contaminado en: DOC (Diesel Oxidation Catalyst)



1. Función crítica

El DOC oxida CO y HC, y además ayuda a generar condiciones favorables para la regeneración del DPF. El catalizador DOC es una pieza clave de la estabilidad del sistema completo. (1) (2)

2. Detonador del daño – El DOC sufre por:

- envenenamiento químico (azufre, fósforo, compuestos indeseables)
- ensuciamiento por hollín/aceite
- sobretemperaturas
- distribución no uniforme del flujo

Un combustible que produce más PM y combustión menos estable acelera el ensuciamiento y desbalance térmico del DOC. (1) (2)

3. Etapas progresivas del daño

Etapa 1

- pérdida parcial de actividad catalítica
- menor oxidación de CO y HC

Etapa 2

- peor generación de NO₂ útil para DPF
- regeneraciones menos robustas
- aumento de HC/CO reales

Etapa 3

- mayor caída de rendimiento del DPF asociado
- envejecimiento térmico del recubrimiento catalítico

Etapa 4

- sustitución o daño irreversible del monolito/catalizador

4. Comparativo técnico

Con diésel contaminado:

- más depósitos
- peor condición de entrada al DOC
- pérdida progresiva de eficiencia catalítica
- más inestabilidad en el tren DOC-DPF-SCR

Con diésel ultra limpio:

- mejor estabilidad del catalizador
- menor carga orgánica
- mejor soporte a regeneración y al resto del tren

5. Perjuicio económico

- reemplazo prematuro del catalizador
- regeneraciones menos efectivas
- mayor consumo del sistema global
- más mantenimiento asociado a DPF/SCR por cascada de falla

6. ROI estimado

ROI indicativo:

- **8 a 24 meses**
- más dependiente del costo del catalizador y del perfil térmico de operación

7. Perjuicio ambiental y sanitario

Un DOC degradado:

- eleva CO y HC reales
- empeora la eficacia del DPF
- incrementa emisiones aguas abajo
- aumenta el riesgo de olor, humo y exposición urbana

8. Bypass y downgrade

El bypass del DOC rara vez se presenta solo; suele formar parte de un “borrado” más amplio. El efecto es romper la arquitectura térmica y química del postratamiento, haciendo que el sistema completo deje de cumplir su función de diseño. [\(1\)](#)

ANEXO 5. Daños por diésel contaminado en: SCR / ASC (Selective Catalytic Reduction / Ammonia Slip Catalyst)

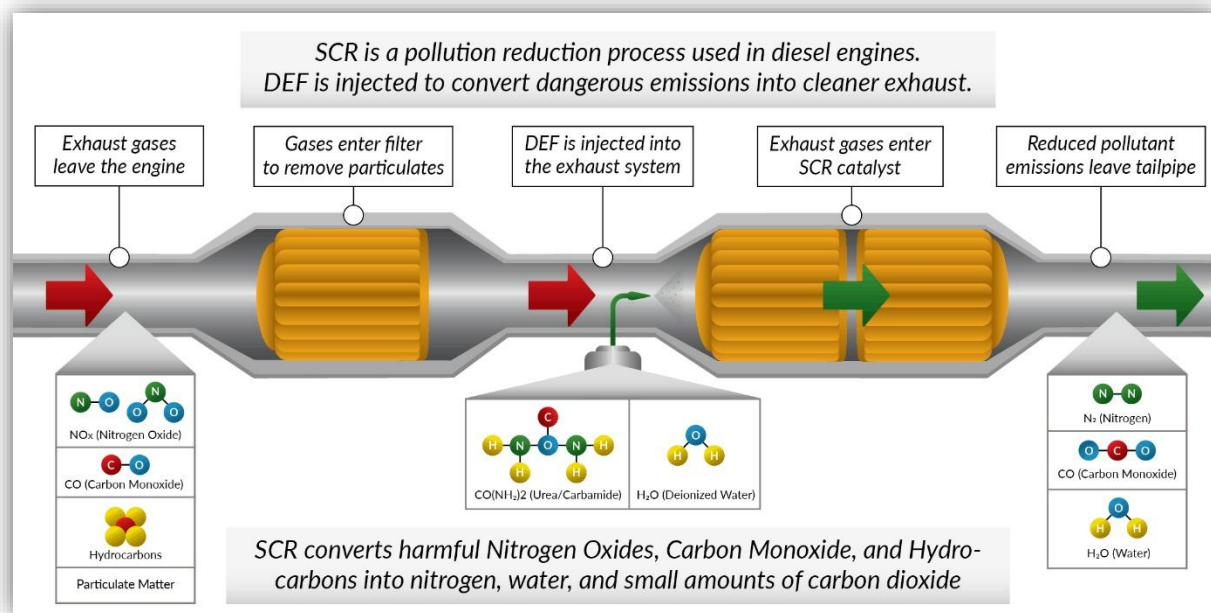


Diagrama catalizador SCR

1. Función crítica

SCR reduce NO_x usando urea/DEF y catalizador; ASC controla el amoníaco residual. En Euro VI, la arquitectura DOC + DPF + SCR y, frecuentemente, ASC se volvió la base del cumplimiento robusto de NO_x y PM. [\(1\)](#) [\(2\)](#) [\(3\)](#)

2. Detonador técnico del daño

Aunque el SCR no recibe diésel directamente, sí sufre las consecuencias del combustible sucio:

- más PM y cenizas aguas arriba
- peor gestión térmica
- más desbalance del tren
- depósitos y contaminación del sistema
- uso anómalo de DEF por estrategias compensatorias
- sobrecarga de sensores NO_x y control

Además, el azufre y otros contaminantes pueden degradar el desempeño catalítico. Incluso con ULSD/ULS, la química del sistema sigue siendo sensible. [\(1\)](#) [\(2\)](#)

3. Etapas progresivas del daño

Etapa 1

- leve pérdida de eficiencia de reducción NO_x
- aumento del consumo específico de DEF para compensar

Etapa 2

- depósitos / desbalance de mezcla / fallas de dosificación
- errores de sensores y control

Etapa 3

- salida de NOx fuera de diseño
- amoníaco slip o dosificación ineficiente
- derate y códigos recurrentes

Etapa 4

- falla funcional del SCR/ASC
- operación real con NOx de alto emisor

4. Comparativo técnico

Con diésel contaminado:

- más perturbación al sistema térmico y de flujo
- más eventos de falla y consumo anómalo de DEF
- más probabilidad de degradar el catalizador
- más NOx real en uso [\(1\)](#)

Con diésel ultra limpio:

- sistema más estable
- menor necesidad de correcciones
- menor castigo global al tren de postratamiento
- mejor uso de DEF

5. Perjuicio económico

- mayor consumo de urea/DEF
- recambio de sensores NOx
- limpiezas del dosificador / mezclador
- sustitución de catalizador
- paros por derate
- incremento del TCO

6. ROI estimado

ROI indicativo del diésel ultra limpio sobre SCR/ASC:

- **6 a 20 meses**
- muy favorable si existe alto consumo de urea [\(1\)](#), fallas recurrentes de NOx o derates

7. Perjuicio ambiental y sanitario

La manipulación o degradación de SCR tiene un impacto muy severo en NOx. Un estudio experimental mostró que, al manipular el SCR, las emisiones de NOx aumentaron en **más de un orden de magnitud**, alcanzando niveles de generaciones viejas o incluso pre-Euro.

Ese incremento de NOx agrava:

- ozono troposférico
- formación secundaria de nitratos y PM2.5
- irritación respiratoria
- riesgo cardiovascular
- carga sanitaria urbana

8. Bypass y downgrade

Aquí aparece una de las formas más agresivas de manipulación: emuladores, software de defeat o simulación de señales para aparentar que el SCR funciona cuando en realidad no está controlando NOx. Un estudio europeo sobre tampering señala precisamente sistemas que envían señales equivalentes al control original mientras el NOx deja de estar controlado. [\(1\)](#)

Conclusión de downgrade: una manipulación de SCR en un Euro VI puede llevar las emisiones reales de NOx a valores comparables con vehículos mucho más antiguos, o incluso “pre-Euro”, aunque el vehículo siga “pareciendo” Euro VI en papeles. [\(1\)](#)

ANEXO 6. La normativa en Argentina:

Regulación de emisiones de motores diésel de vehículos pesados

En la Argentina, la disposición estatal equivalente que regula las emisiones de motores diésel de vehículos pesados nuevos es la **Resolución 546/2025** (que actualiza normativas previas de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable).

A diferencia de la mexicana **NOM-044-SEMARNAT-2017** —la cual exige obligatoriamente tecnologías **Euro VI** o **EPA 10**—, la normativa argentina vigente tiene como estándar mínimo obligatorio la tecnología **Euro V** para vehículos pesados.

Marco normativo argentino

Para que un vehículo pesado diésel (camiones o autobuses) se pueda fabricar, importar o comercializar legalmente en el mercado interno argentino, debe tramitar la **Licencia para Configuración Ambiental (LCA)**, emitida por la Subsecretaría de Ambiente.

- **El estándar obligatorio:** De acuerdo con las actualizaciones oficiales, el parámetro de referencia obligatorio en el país para motores pesados sigue anclado formalmente en los límites de emisión de la norma **Euro V** (según lo estipulado originalmente por la histórica Resolución SAyDS N° 1464/2014).
- **Tecnología requerida:** Los vehículos comercializados en el país bajo esta regla utilizan sistemas de Reducción Catalítica Selectiva (**SCR**) con inyección de urea automotriz (conocida localmente como Arnox 32 o Azul 32) o recirculación de gases de escape (**EGR**) para mitigar los óxidos de nitrógeno (NOx).

¿Por qué Argentina no ha dado el salto obligatorio a Euro VI?

Aunque existen diversos análisis de costo-beneficio realizados por organismos como el [Consejo Internacional de Transporte Limpio \(ICCT\)](#) que recomiendan avanzar hacia **Euro VI** para reducir drásticamente el material particulado (PM2.5), el Estado argentino ha postergado la obligatoriedad de este salto tecnológico debido a factores logísticos y económicos:

1. **Disponibilidad de combustible:** Los motores **Euro VI** requieren de forma estricta un gasoil de ultra bajo azufre con un máximo absoluto de **10 partes por millón (ppm)**. Si bien las refinerías locales producen combustibles Grado 3 de excelente calidad, garantizar el suministro homogéneo de diésel libre de azufre en todas las rutas del extenso territorio nacional ha sido una traba histórica.
2. **Contexto económico del transporte:** Las terminales automotrices ya comercializan de forma opcional algunos modelos pesados adaptados a **Euro VI**, pero imponerlo por ley como única opción encarecería temporalmente los costos de renovación de flotas para las empresas de transporte logístico.

Apertura y desregulación reciente

La administración gubernamental introdujo cambios de gran relevancia mediante la **Resolución 263/2026**. No eleva la exigencia a Euro VI, sino que busca **desburocratizar y simplificar** la importación de vehículos. A través de las *Constancias de Validación de Homologación Ambiental Extranjera (CVHAE)*, el gobierno argentino acepta de forma directa las certificaciones de emisiones otorgadas por la **Unión Europea (Euro)** o la **US EPA** de manera automática, lo que agiliza el ingreso de tecnologías más limpias si las marcas deciden traerlas por cuenta propia.

El Gasoil Grado 3

Comercializado bajo nombres como *Infinia Diesel* en [YPF Argentina](#) o *V-Power Diesel* en Shell) es el combustible de máxima calidad y refinamiento en el mercado argentino. Está diseñado específicamente para motores modernos con sistemas de inyección Common Rail y postratamiento de gases (filtros de partículas DPF y catalizadores SCR).

1. Contenido de Azufre: Máximo 10 ppm [6]

El Gasoil Grado 3 en Argentina tiene un límite estrictamente fijado de **menos de 10 partes por millón (ppm)** de azufre.

Este valor es un estándar técnico indispensable. Si el combustible superara los 10 ppm, el azufre "envenenaría" de forma irreversible los sistemas de reducción de emisiones y saturaría los filtros de partículas (DPF), rompiendo los motores con tecnología **Euro V** y **Euro VI**.

*Como contraparte, el Gasoil Grado 2 (el diésel común o comercializado como Diésel 500) se unificó bajo la legislación de la [Secretaría de Energía](#) a un límite máximo de **350 ppm** en todo el territorio nacional, quedando relegado a motores de tecnología vieja (Euro III o anteriores).*

2. Grado de Limpieza: La Norma ISO 4406

La normativa de la Secretaría de Energía de Argentina **no exige explícitamente un código ISO 4406 obligatorio en los surtidores de venta al público**. La regulación argentina controla la limpieza mediante parámetros tradicionales de laboratorio como "*Contenido de agua y sedimentos*" o "*Estabilidad a la oxidación*".

Sin embargo, el consenso mundial de ingenieros, tribólogos y expertos determina **ISO 11/8/7** como limpieza óptima para sistemas de inyección modernos (**1 - 2 - 3**); mientras que los OEM exigen ([World Wide Fuel Charter](#)) un código de limpieza estricto **ISO 18/16/13** o menor como límite máximo condenatorio para no anular las garantías de sus motores de servicio pesado. Para cumplir con esto de forma interna, las refinerías locales (como el Complejo Industrial La Plata de YPF o la refinería de Raízen/Shell en Dock Sud) aplican procesos de filtrado crítico en sus terminales de despacho. El gasoil sale de la refinería limpio, pero el gran desafío en Argentina es el transporte: el combustible suele arrastrar micropartículas y humedad en los camiones cisterna y en los tanques de las estaciones de servicio antes de llegar al camión.

3. Proporción Porcentual en el Mercado (Mix de Consumo)

El consumo total de gasoil en Argentina se divide de la siguiente manera en el mix de comercialización de las estaciones de servicio:

- **Gasoil Grado 2 (Común): ~60% a 65% del volumen total.** Sigue siendo el más vendido debido a que la matriz productiva argentina cuenta con un parque automotor antiguo en el agro, el transporte de carga general de media distancia y la maquinaria pesada indirecta.
- **Gasoil Grado 3 (Premium): ~35% a 40% del volumen total.** Ha ganado terreno sostenido debido a la renovación obligatoria de las flotas de camiones pesados de larga distancia y colectivos urbanos patentados en los últimos años, los cuales exigen sí o sí este combustible para no activar las alertas de falla en la computadora de a bordo.

Especificaciones técnicas adicionales del Grado 3 argentino:

- **Número de Cetano:** Mínimo de **51** (frente a los 48 del Grado 2), lo que garantiza una combustión mucho más rápida, eficiente, menor ruido de golpeteo y un arranque en frío optimizado.
- **Corte de Biodiésel:** Por ley nacional, este combustible incluye una mezcla obligatoria (corte) de **biodiésel**, regulada en torno al **7.5% en volumen**, elaborado principalmente a base de aceite de soja por las plantas procesadoras locales.

Referencias:

- [1] <https://theicct.org>
- [2] <https://infinia.com.ar>
- [3] <https://infinia.com.ar>
- [4] <https://www.gob.mx>
- [5] <https://ypfelcruce.com>
- [6] <https://ypfelcruce.com>
- [7] <https://1000caracteresweb.com.ar>
- [8] <https://mineria.ypf.com>
- [9] <https://www.boletinoficial.gob.ar>
- [10] <https://addi.ehu.es>
- [11] <https://www.miteco.gob.es>
- [12] <https://ypfelcruce.com>
- [13] <https://ypfelcruce.com>
- [14] <https://airegulasolutions.com>
- [15] <https://theicct.org>
- [16] <https://www.axionenergy.com>
- [17] <https://dsca.com.ar>
- [18] <https://www.argentina.gob.ar>
- [19] <https://www.infobae.com>
- [20] <https://www.ccacoalition.org>
- [21] <https://www.noxguard.mx>
- [22] <https://www.instagram.com>
- [23] <https://theicct.org>
- [24] <https://www.hortonww.com>
- [25] <https://www.elestacionero.com>
- [26] <https://indicadores.ar>
- [27] <https://www.infobae.com>
- [28] <https://www.wolfubes.com>
- [30] <https://www.boletinoficial.gob.ar>
- [31] <https://abogados.com.ar>
- [32] <https://www.gob.mx>

ANEXO 7. Biodiesel vs Temperatura en Argentina:

Impacto del porcentaje de corte de biodiésel en los filtros de combustible bajo climas fríos (como la Patagonia Argentina)

El porcentaje de corte de biodiésel (actualmente regulado en un **7.5% en volumen** para el Gasoil Grado 3 en Argentina) genera un impacto crítico en el sistema de filtrado de combustible cuando opera en zonas de temperaturas extremas como la Patagonia.

A continuación, se detallan los mecanismos físicos y químicos de este impacto, los problemas en los filtros y las soluciones técnicas aplicadas en el sur argentino:

1. El Fenómeno Químico: Cristalización y Punto de Obstrucción

El biodiésel utilizado en Argentina se produce principalmente a base de **aceite de soja**. Las moléculas de este biocombustible (metilesteres de ácidos grasos o FAME) tienen un Punto de Enturbiamiento (*Cloud Point*) y un Punto de Obstrucción de Filtros en Frío (**POFF / CFPP**) significativamente más altos que los del gasoil fósil puro. [1]

- **Punto de Enturbiamiento:** En la Patagonia, cuando la temperatura ambiente cae por debajo de los **0°C a -5°C**, las parafinas pesadas y los compuestos saturados del biodiésel comienzan a separarse y formar microcristales cerosos visibles.
- **Taponamiento del filtro:** Al alcanzar el POFF (que sin aditivos puede situarse cerca de los **-10°C**), estos cristales se aglomeran formando una pasta densa que bloquea por completo la malla porosa del filtro de combustible, impidiendo el paso del flujo hacia la bomba de alta presión.

2. Mayor Retención de Agua e Hidrólisis

El biodiésel es una sustancia **higroscópica**, lo que significa que absorbe y retiene mucha más humedad del ambiente que el gasoil convencional. [2, 3, 4, 5]

- **Congelamiento microbiano:** En climas fríos, el agua emulsionada en el combustible se separa debido a la baja temperatura y forma microcristales de hielo dentro del cuerpo del filtro.
- **Saturación prematura:** El agua libre en el filtro reacciona con el biodiésel (hidrólisis), acelerando la degradación del combustible y formando ácidos orgánicos y sedimentos gomosos que saturan el elemento filtrante mucho antes de cumplir las horas de servicio programadas.

3. El Efecto "Solvente" en Flotas Nuevas o Usadas

El biodiésel actúa como un solvente natural que limpia los tanques de almacenamiento y las cañerías de conducción. Cuando un camión viaja desde el centro del país (clima templado) hacia la Patagonia, el frío reduce la solubilidad de las impurezas disueltas. El biodiésel arrastra estos residuos y los deposita en masa directamente en el papel filtrante, provocando caídas abruptas de presión en el circuito de alimentación. [6, 7]

Soluciones Técnicas Aplicadas en la Patagonia

Para mitigar estos efectos y evitar que el transporte pesado se detenga en las rutas del sur, se implementan tres estrategias principales:

- **Gasoil de Operación Invernal (Aditivación en Refinería):** Durante los meses de invierno (mayo a septiembre), las petroleras locales como YPF modifican la formulación de su combustible despachado a la Patagonia. Añaden aditivos depresores del punto de fluidez y mejoradores de flujo en frío (**WAFI**), logrando bajar el POFF del Grado 3 hasta los **-20°C**, manteniendo los cristales en un tamaño diminuto capaz de atravesar el filtro.
- **Sistemas de Precalentamiento Activo:** Los camiones modernos de servicio pesado que operan en el sur integran calentadores eléctricos en la base del **filtro separador de agua (Pre-filtro)** o utilizan el propio calor del retorno de combustible del motor para entibiar el diésel antes de que ingrese a la etapa de filtrado principal.
- **Acortamiento de Intervalos de Mantenimiento:** Las empresas de transporte logístico en la Patagonia suelen reducir los intervalos de cambio de filtros de combustible entre un **25% y un 30%** durante la temporada invernal de forma preventiva.

Referencias:

- [1] <https://www.unicen.edu.ar>
- [2] <https://www.redalyc.org>
- [3] <https://espanol.libretexts.org>
- [4] <https://www.sgs.com>
- [5] <https://ypfelcruce.com>
- [6] <https://users.df.uba.ar>
- [7] <https://www.researchgate.net>

La Ultra-Filtración como Solución de alto impacto

La combinación de una filtración de partículas de ultra-alta eficiencia que alcance un código de limpieza **ISO 11/8/7 o menor** (según la norma [ISO 4406](#)) junto con una **eliminación del 95% del agua** actúa directamente sobre las causas físicas y químicas que provocan el colapso del biodiésel ante las bajas temperaturas de la Patagonia.

La explicación técnica y verificable de cómo estos dos parámetros mitigan el problema se fundamenta en los siguientes principios termodinámicos y mecánicos:

1. Mitigación de Partículas (ISO 11/8/7): Eliminación de los Sitios de Nucleación Heterogénea

El código **ISO 11/8/7** describe un fluido extremadamente limpio. Traducido a cantidad de partículas por mililitro (mL) de combustible, significa: [1, 2]

- **11:** Entre 10 y 20 partículas de tamaño $\geq 4 \mu\text{m}$.
- **8:** Entre 1.3 y 2.5 partículas de tamaño $\geq 6 \mu\text{m}$.
- **7:** Entre 0.64 y 1.3 partículas de tamaño $\geq 14 \mu\text{m}$. [1]

El Mecanismo Técnico:

Cuando la temperatura del biodiésel desciende hacia su punto de enturbiamiento (*Cloud Point*), las moléculas de ésteres metílicos saturados (FAME) necesitan realizar una **nucleación** para pasar del estado líquido al sólido (cristales de cera). [3]

- **En un combustible sucio (ej. ISO 20/18/15):** Los millones de micropartículas de polvo, hollín y metales suspendidos actúan como "núcleos de condensación" (nucleación heterogénea). Los cristales de cera se adhieren a estas impurezas sólidas preexistentes, acelerando el crecimiento y la aglomeración geométrica de estructuras cerosas a temperaturas más altas de lo normal.
- **Con filtración ISO 11/8/7 o menor:** Al remover casi la totalidad de los sólidos flotantes mediante medios filtrantes sintéticos absolutos (microfibra de vidrio), se elimina el soporte físico para la nucleación heterogénea. El combustible se ve obligado a realizar una nucleación *homogénea* (molécula a molécula de FAME), un proceso termodinámicamente más difícil que requiere **temperaturas notablemente más bajas para que los cristales crezcan** lo suficiente como para bloquear las mallas. Los microcristales que logran formarse quedan aislados, dispersos y con diámetros inferiores a las holguras críticas del sistema. [3, 4, 5]

2. Eliminación del 95% del Agua: Supresión de la Co-cristalización y la Hidrólisis

El biodiésel (FAME) es una molécula polar e higroscópica que disuelve y emulsiona hasta **15 a 20 veces más agua** que el diésel fósil convencional. [6]

El Mecanismo Técnico:

Una eficiencia de separación de agua de grado coalescente del **95%** ataca dos problemas críticos inducidos por el frío: [6]

- **Bloqueo por Hielo y Co-cristalización:** A temperaturas bajo cero, el agua libre y emulsionada sufre una transición de fase a cristales de hielo mucho antes de que el propio combustible llegue a su Punto de Obstrucción de Filtros en Frío (POFF). Estos microcristales de hielo se entrelazan físicamente con los primeros filamentos de cera del biodiésel, actuando como un "cemento" hidrofílico. Esto da origen a una pasta impenetrable de alta viscosidad que sella el medio filtrante. Al remover el 95% del agua, se elimina este aglutinante térmico.
- **Prevención de Degradación Química (Insolubles):** El agua en el biodiésel activa la *hidrólisis*, rompiendo los ésteres grasos en ácidos grasos libres (AGL), monoglicéridos y diglicéridos saturados. Estos subproductos de la degradación química poseen puntos de fusión extremadamente altos (se solidifican incluso a temperatura ambiente o climas templados). Al remover el agua de forma continua, se frena el proceso químico de hidrólisis y la consecuente formación de estos sedimentos gomosos térmicamente inestables. [6, 7, 8]



Resumen del Beneficio Operativo en la Patagonia

Al interceptar los contaminantes antes de que alcancen el motor, un sistema de ultra-alta eficiencia logra que el Punto de Obstrucción de Filtros en Frío (**POFF**) real del sistema se mantenga lo más cercano posible al límite teórico del combustible limpio de laboratorio. Esto evita que el camión o la maquinaria pesada sufran caídas de presión de combustible o paradas imprevistas por el colapso prematuro del filtro ante las heladas patagónicas. [3, 5, 8]

Referencias:

- [1] <https://www.kleenoil.com>
- [2] <https://www.youtube.com>
- [3] <https://schroederindustries.com>
- [4] <https://www.smartfiltration.com>
- [5] <https://pubs.aip.org>
- [6] <https://www.parker.com>
- [7] <https://pubs.aip.org>
- [8] <https://www.biobased-diesel.com>

ANEXO 8. La normativa en Chile:

Regulación de emisiones de motores diésel de vehículos pesados

La norma estatal chilena es el **Decreto Supremo Nº 50** (2023) del Ministerio del Medio Ambiente, que modificó el histórico cuerpo legal del transporte pesado chileno (DS 55/1994)

Chile dio el salto obligatorio total a Euro VI. Desde el **5 de enero de 2026**, no se permite la inscripción ni comercialización de ningún camión o autobús diésel nuevo que no cumpla con los estándares **Euro VI** o su equivalente americano **EPA 2010**.

La regulación chilena opera bajo las siguientes directrices estructurales:

El Marco Regulatorio Chileno (DS 50)

El decreto exige de manera inflexible límites máximos de emisión idénticos a las etapas más avanzadas de la norma mexicana:

- **Obligatoriedad:** Desde principios de 2026, los importadores y concesionarios chilenos tienen prohibido registrar vehículos pesados con tecnologías obsoletas como Euro V o inferiores.
- **Fiscalización:** El control técnico previo a la comercialización lo realiza el **Centro de Control y Certificación Vehicular (3CV)**, dependiente del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, que valida físicamente las tecnologías de postratamiento de gases de los motores.

Reducción del Impacto Ambiental Estimado

La implementación de esta normativa responde a una política pública para mitigar las alertas ambientales urbanas. De acuerdo con las estimaciones técnicas del [Ministerio del Medio Ambiente de Chile](#), la obligatoriedad de Euro VI generará una reducción acumulada en el periodo 2024-2032 de **1,018 toneladas de material particulado fino (MP2.5)** y **127,109 toneladas de óxidos de nitrógeno (NOx)**.

La Clave del Éxito Chileno: Combustible de Ultra Bajo Azufre

A diferencia de otros países de la región que han retrasado la adopción de Euro VI por problemas de logística de hidrocarburos, Chile pudo implementar la ley gracias a que la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) y las distribuidoras privadas garantizan de forma homogénea en el 100% de las estaciones de servicio del país el **Diésel Grado B1**, el cual cuenta con un límite máximo estricto de **10 ppm (partes por millón) de azufre**. Esto evita de forma segura el "envenenamiento" químico de los catalizadores SCR y los filtros DPF de los motores nuevos.

El Próximo Paso en el Mercado Chileno: Livianos y Medianos

El ecosistema de transporte en Chile avanza de forma paralela en otros segmentos.

Mientras los vehículos pesados ya operan bajo Euro VI, los vehículos livianos y medianos nuevos comercializados en el país migrarán obligatoriamente hacia la restrictiva norma **Euro 6c** a partir del **30 de septiembre de 2025**.

Se sugiere profundizar en las **excepciones temporales** de la norma chilena para zonas extremas, las metodologías de prueba del **organismo certificador 3CV**, o las diferencias en los sistemas de diagnóstico a bordo (**OBD Euro VI vs OBD EPA**).

Referencias:

- [1] <https://www.chiletransportistas.com>
- [2] <https://www.noxguard.mx>
- [3] <https://mma.gob.cl>
- [4] <https://energia.gob.cl>
- [5] <https://www.subtrans.gob.cl>
- [6] <https://www.instagram.com>