
PFAS - Referencia europea Actividades de remediación

Intersoil 2026 - Barcelona, 8 de octubre

Jesús Casado León
Director técnico - REMEDIACIÓN - España

Residuos peligrosos en Europa



REMEDIACIÓN EN EUROPA

Referencia en la remediación de suelos

 **Más de 400**
especialistas

 **40 años**
de experiencia

 **Volumen de negocio**
150 millones de
euros en 2025

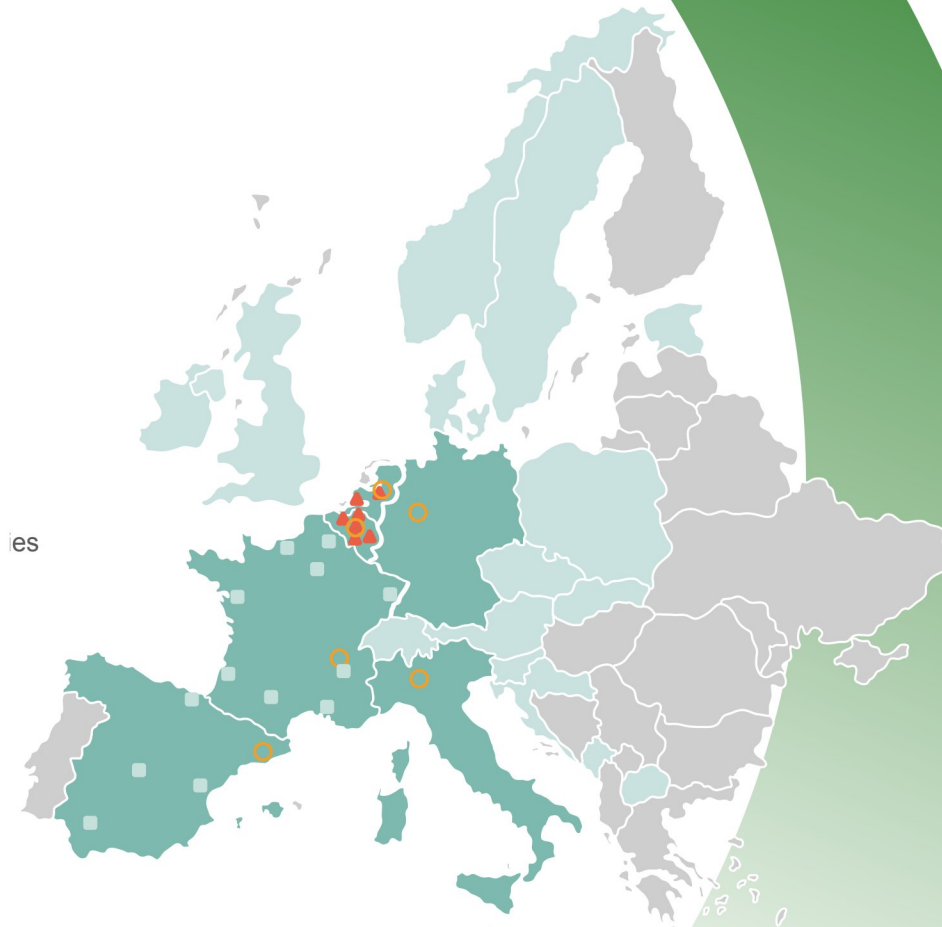
 **7**
instalaciones de tratamiento *

 **Seguridad**
FR1 0,00 / FR2 5,26 SR
0,00 en 2025

 **Instalaciones**
5 talleres y 5 laboratorios

 **24**
oficinas en 6 países

 **Tratamiento
y recuperación**
de 1,5 millones de toneladas
de suelo en 2025



* más 7 centros de tratamiento de suelos en Francia pertenecientes a la división de Residuos Minerales

Regulación de los PFAS en el agua potable en la UE

- Suma de 20 PFAS y/o PFAS totales (Directiva de la UE sobre el agua potable, 2020)
- Suma de 20 PFAS + PFAS de la EFSA (PFHxS, PFOS, PFOA, PFNA)
- Suma de los 20 PFAS modificados + PFAS de la EFSA

Suecia



100 ng/l para la suma de PFAS-21
4 ng/l para la suma de PFAS-4

Dinamarca



100 ng/l para la suma de PFAS-22
2 ng/l para la suma de PFAS-4
9 µg/l para el TFA

Países Bajos



100 ng/l para la suma de PFAS-22
4,4 ng/l para la suma de PFAS-4 (equivalente a PFOA)
2,2 µg/l (recomendado) para el TFA

Bélgica



100 ng/l para la suma de PFAS-20
4 ng/l para la suma de PFAS-4 (objetivo en las regiones de Bélgica)

España



100 ng/l para Sum PFAS-20
70 ng/ PFOA, PFOS, PFHxS y PFNA

UE



Suma de 20 PFAS: 100 ng/l y/o
PFAS totales: 500 ng/l (en vigor antes de enero de 2026)

Alemania



100 ng/l para la suma de PFAS-20 (2026)
20 ng/l para la suma de PFAS-4 (2028)
60 µg/l para TFA (reco)

República Checa



100 ng/l para la suma de PFAS-20
10 ng/l para la suma de PFAS-4 (indicativo)

Italia



100 ng/l para la suma de PFAS-30
20 ng/l para la suma de PFAS-4
10 µg/l para el TFA

► Lista más amplia de PFAS y umbrales más bajos. Concienciación sobre una posible evolución

Regulación de los PFAS en suelos de la UE (µg/kg-DM)

■ Umbrales de recuperación/reutilización libre

■ Sin normativa / prevista

□ No representado

Dinamarca



Σ 4 PFAS <10 (PFOA, PFOS, PFNA o PFHxS)
22 PFAS <400

Irlanda



< Límite de cuantificación (QL) actual; se espera un umbral en breve

Países Bajos



PFOS / PFOA / otros PFAS individuales:
Agricultura 1,4 / 1,9 / 1,4 -
Residencial e industrial 3 / 7 / 3

Bélgica



Flandes y Bruselas: PFOS < 3; PFOA < 2, Σ
55 PFAS < 8
Valonia: PFOS < 0,8; PFOA < 0,5

España



SIN REGLAMENTACIÓN

UE



Cada país establece su propio valor. El enfoque principal se basa en el nivel de agua potable en lixiviados: L/S = 10

Alemania



$\Sigma ([PFAS1]/C_{max1} + \dots + [PFASn]/C_{maxn}) \leq 1$

Francia



SIN REGULACIÓN

Italia



PREVISTO



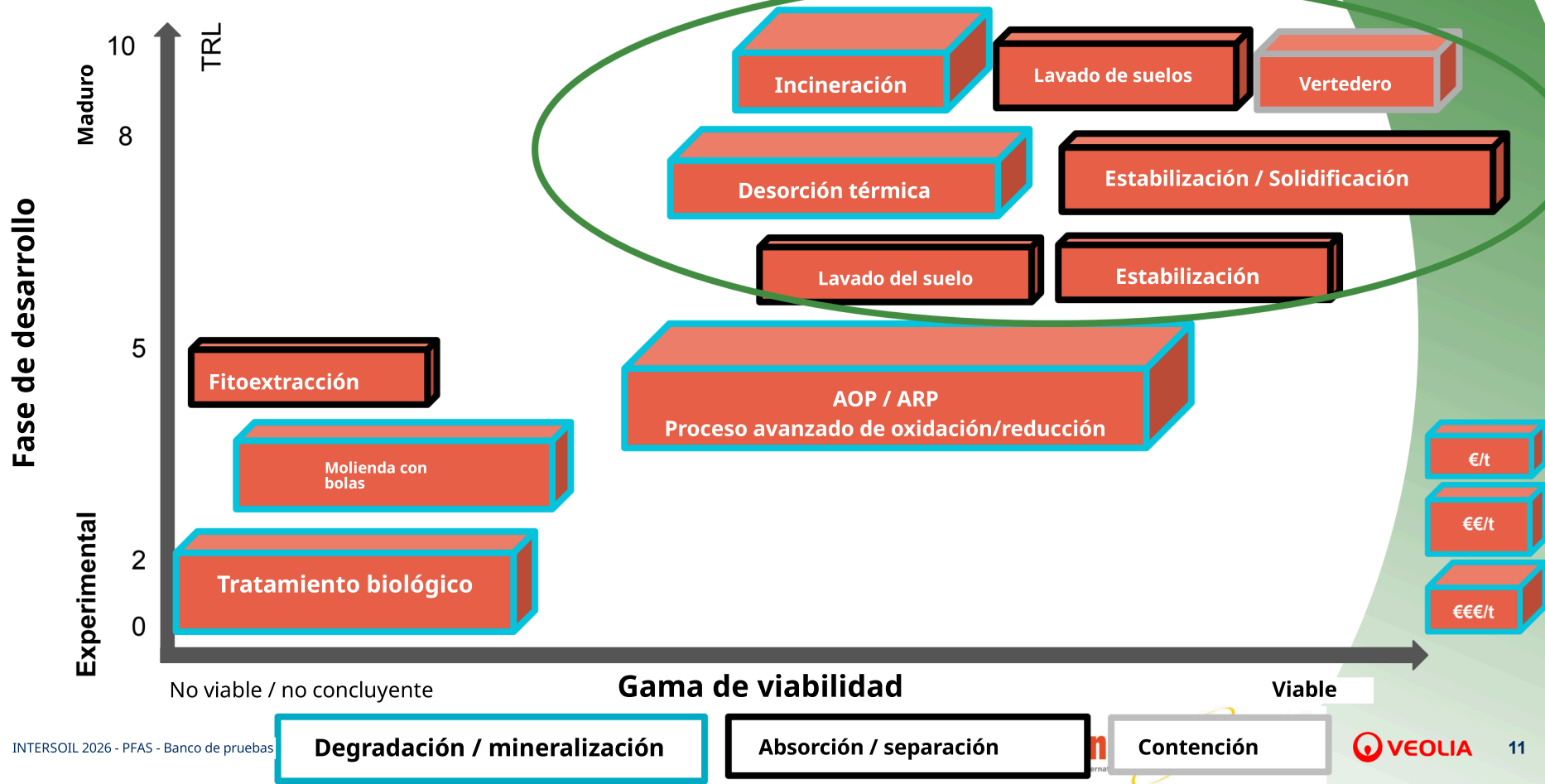
Sin valor = escasa actividad empresarial en el ámbito de la remediación

¿Cuáles son las técnicas para la remediación de suelos y aguas subterráneas?

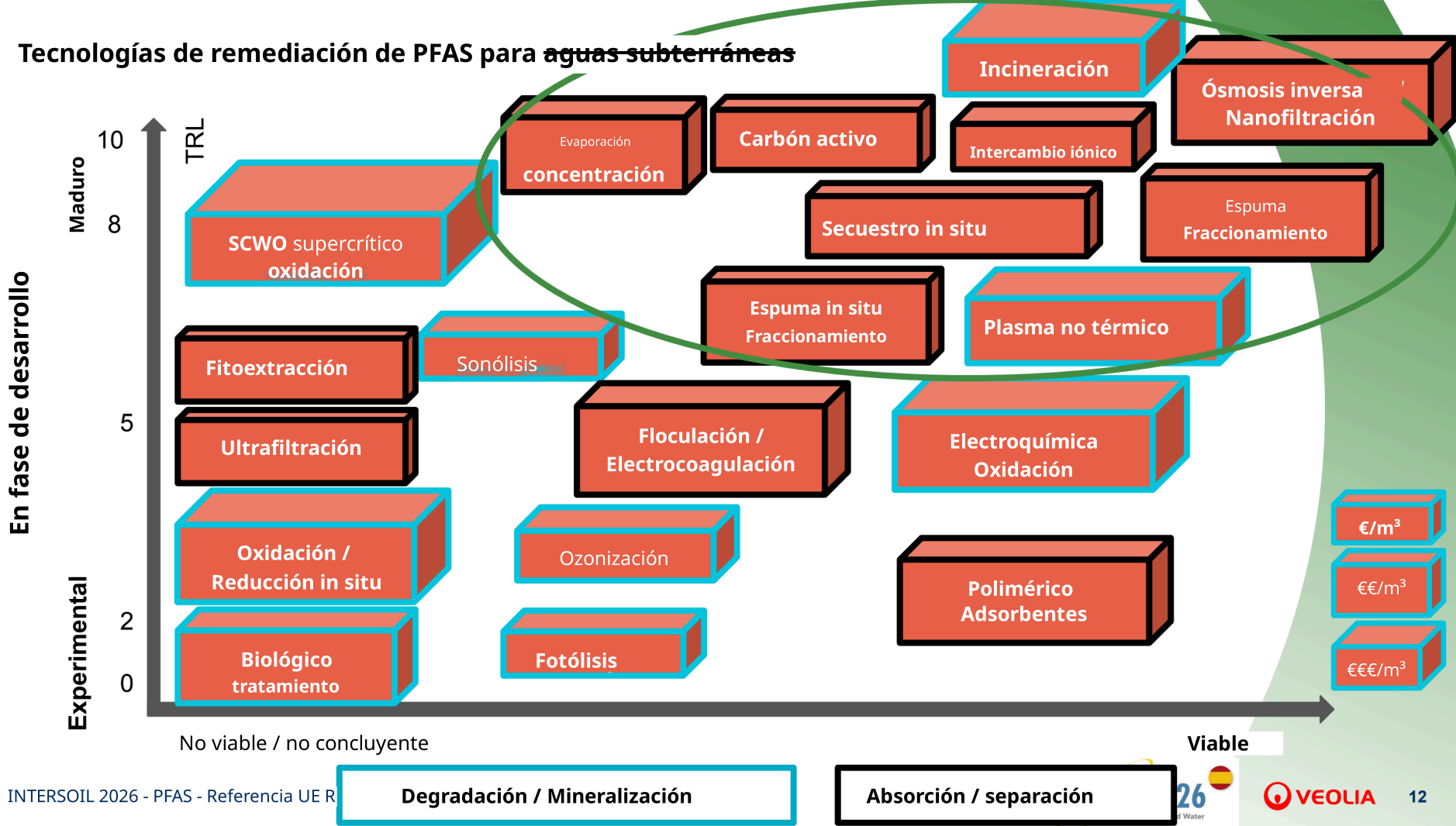
Residuos peligrosos en Europa



Tecnologías de remediación de PFAS en suelos



Tecnologías de remediación de PFAS para aguas subterráneas



Pruebas de viabilidad

Residuos peligrosos en Europa



Proyectos piloto a escala de laboratorio en VEOLIA Remediation

PFAS

N.º	PROYECTO PILOTO A ESCALA DE LABORATORIO	TECNOLOGÍA DE REMEDIACIÓN
1	Prueba de reactivación BIO aeróbica - Suelos - biodisponibilidad	Biopile® / Landfarming / Bioventing
2	Prueba de reactivación BIO aeróbica/anaeróbica - Aguas subterráneas	BIONAPPE® aeróbico o anaeróbico
3	Cinética de biodegradación - Suelos	Biopile® / Cultivo en tierra / Bioventilación
4	Cinética de la biodegradación: aguas subterráneas	BIONAPPE® aeróbico o anaeróbico
5	Elección del oxidante (DSO, MOT, etc.)	Oxidación in situ / en el propio emplazamiento
6	Prueba de oxidación (1 oxidante, 3 concentraciones)	Oxidación in situ
7	Prueba de reducción in situ con hierro cero (T1/2...)	Barrera reactiva permeable
8	Prueba de fotólisis/fotooxidación	Tratamiento del agua con H ₂ O ₂ y UV
9	Estudio de la contaminación metálica de un suelo (especiación)	Todos los tratamientos de la contaminación por metales
10	Estudio de la distribución de un contaminante	Clasificación por tamaño de partículas / cribado / lavado del suelo (cicloneo/atrición/retrolavado)
11	Caracterización del agua (estimación del riesgo de carbonatos, hierro y H ₂ S)	Bombeo y tratamiento / Stripping / ETP® (extracción trifásica)
12	Ensayo de lavado de suelo in situ en columna	Lavado in situ - Enjuague del suelo
13	Pruebas de stripping	Tratamiento del agua / inyección de aire
14	Ensayo de una resina a una determinada concentración (índice de carga, curvas de ruptura, etc.)	Tratamiento del agua con resina
15	Prueba de volatilización de contaminantes ligeros del suelo	Volatilización forzada y controlada del suelo (MECALIS® / ROTALIS®)
16	Ficha técnica/Valorización: Química / HCT, HAP, PCB, BTEX, COHV, metales, agronomía / Geotécnica (distribución granulométrica, índice de azul de metileno, Proctor)	Recuperación in situ. Reutilización del suelo / Renaturalización
17	Estabilización	Estabilización con y sin solidificación: ensayos a corto y largo plazo
18	Ensayo térmico	Tratamiento térmico en horno (TDU) / capacidad y conductividad térmica / ensayos de columna
19	Deshidratación de lodos	Prueba de jarra / Geotubo o prensa de filtro
20	Neutralización	Pruebas de titulación de pH para todas las matrices (lodos ácidos, alquitrantes, etc.)
21	SAFF® (fraccionamiento de espuma con tensioactivos) / CFF (fraccionamiento continuo de espuma)	Eliminación de PFAS de las aguas residuales y concentración de espuma
...	Pruebas personalizadas	Cualquier tratamiento térmico, biológico, físico o químico.

¿Qué técnicas de remediación in situ existen para los suelos?

Residuos peligrosos en Europa



Unidad de desorción térmica

Principio:

Tratamiento de suelos y lodos muy contaminados mediante: desorción térmica.
Eliminación mediante la transferencia de los contaminantes de la fase sólida a la fase gaseosa por calentamiento.

Resultados del tratamiento:

- La fase gaseosa cumple con las normas de emisión más estrictas.
- La fase sólida cumple con los requisitos para su reutilización.

Diseño:

Temperaturas: horno rotativo 200-450 °C y oxidador 850-930 °C.

Contaminantes: TPH, BTEX, HAP, fenoles y cianuros. PFAS (950 °C)

Capacidad de la TDU: 10-20 toneladas/hora.

Construcción:

Preparación, transporte e instalación.

Funcionamiento:

Horario 24 horas al día, 7 días a la semana.

Referencias en remediación:

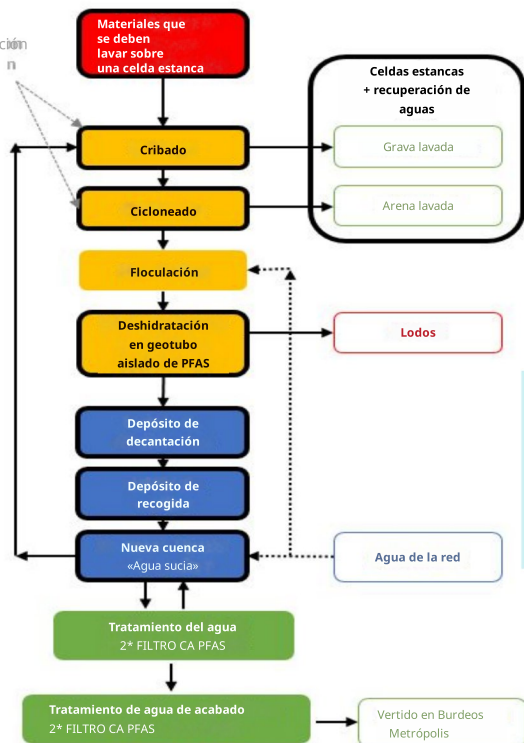
- EARTHSURE®, Melbourne (Australia) hasta 80 000 toneladas/año
- 2012 VHWE Saint-Pierre de Chandieu (Total le Pontet - FR)



Lavado de suelos in situ

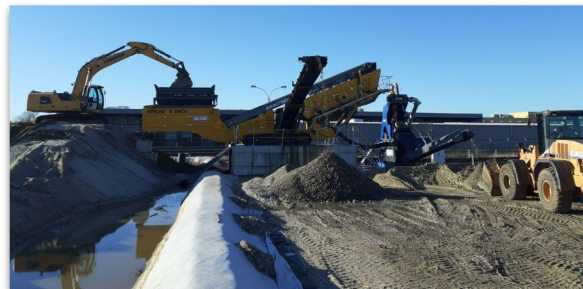
CONFIGURACIÓN DE LAVADO DE PFAS

Pavimentación,
impermeabilización
+ recuperación
de aguas



16 Referencias sobre
emplazamientos
industriales
contaminados
o lixiviados

5 emplazamientos de
descontaminación
de suelos



Proyectos piloto de laboratorio: Relación necesaria

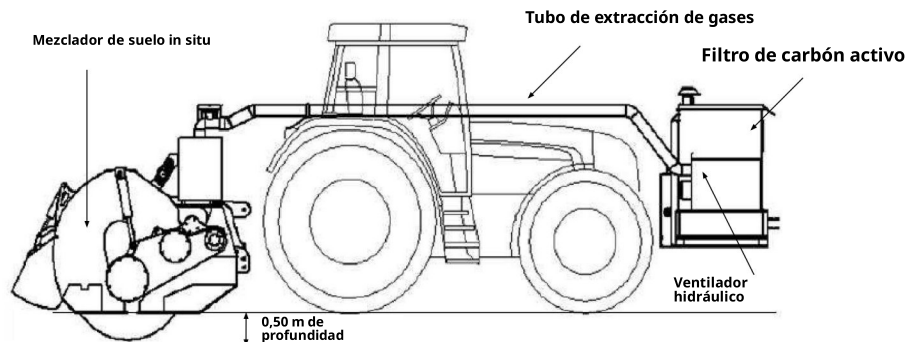
- proporción de partículas finas (<63 µm),
- contenido en arcilla («arcillosidad»)
- Eficiencia

Objetivo del tratamiento del suelo:

- % en masa (balance de masa)
- Valores residuales
- Ejemplo (Rex Ford): 200 µg/kg ⇒ 8 µg/kg

Estabilización in situ (mezcla de suelos en seco)

UNIDAD CON TRATAMIENTO DE GASES CA (Patente FR2975088)



Referencias en remediación:

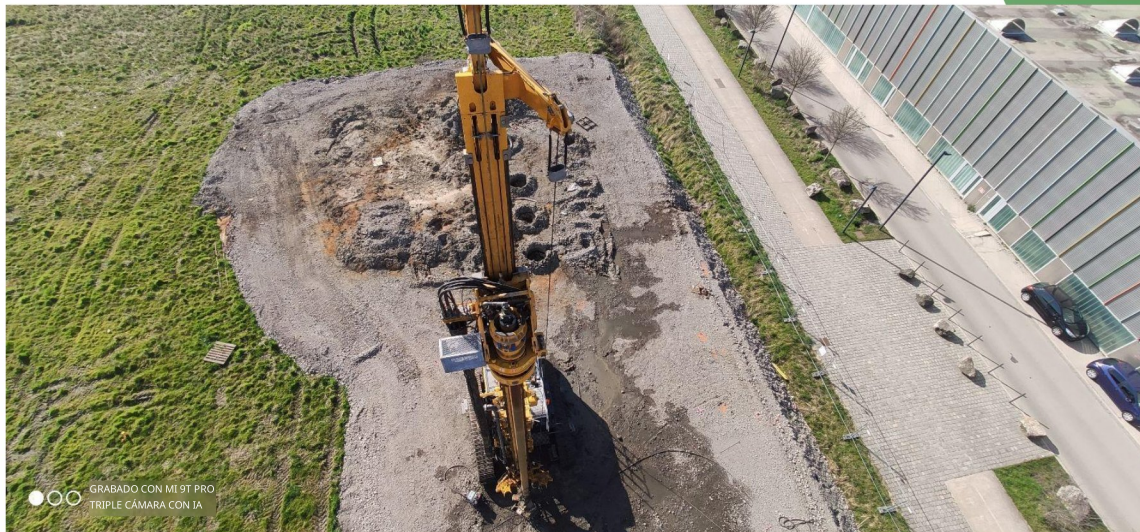
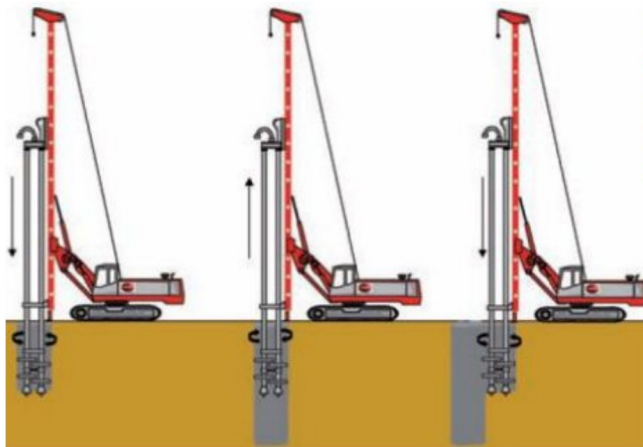
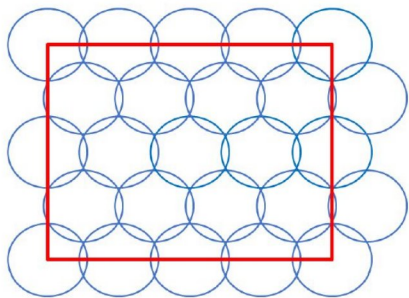
- BP Courchelettes: alquitranes ácidos (FR 2014-16)
- Orano (Hg) (FR 2020-22)

PFAS LIXIVIABLES (dependiendo de la formulación)

- Reducción de la lixiviación de PFAS del 95-99 % en cadenas largas
- Entre el 10 % y el 50 % en las cadenas cortas

Sin efecto sobre el total de PFAS. Solo para la protección de las aguas subterráneas

Estabilización: solidificación in situ (mezcla del suelo)



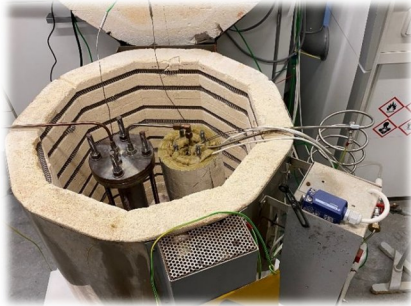
Referencias en remediación (clorados):

- Themerol (FR 2020-23)
- SEM VR (FR 2022-26)

PFAS LIXIVIABLES (dependiendo de la formulación)

- Eliminación del 95-99 % de los PFAS de cadena larga
- Entre el 20 % y el 90 % en cadenas cortas

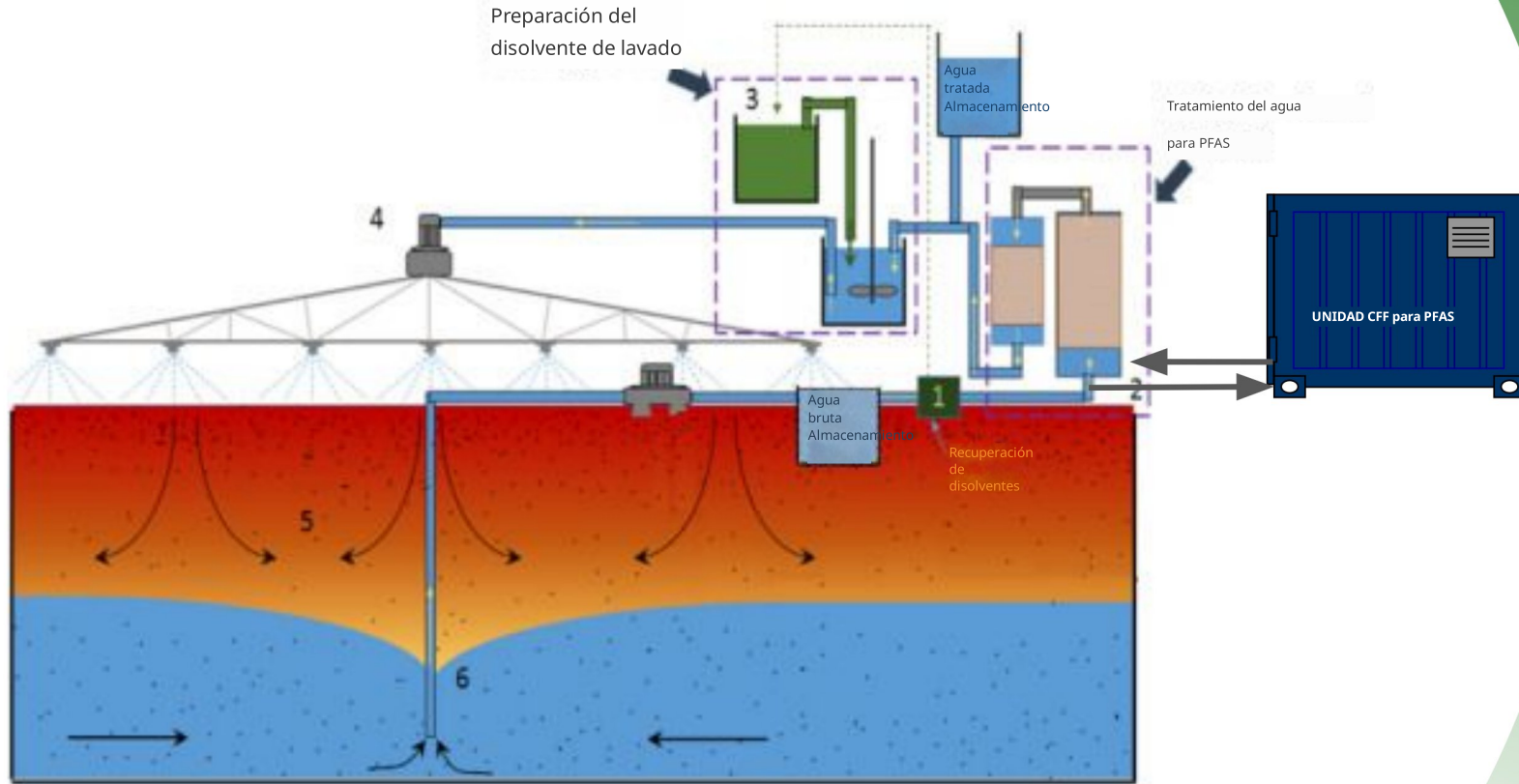
Destrucción térmica de PFAS



INTERSOIL 2026 - PFAS - Actividades de remediación de referencia en la UE

- PFOS = 0,5 µg/kg y PFHxS = 0,1 µg/kg
- otros PFAS 35 y PFAS 35 TOP restantes < QL

Lavado in situ del suelo



¿Qué tratamientos in situ existen para las aguas subterráneas?

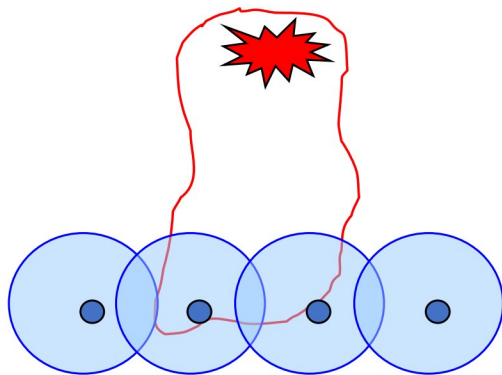
Residuos peligrosos en Europa



Bombeo y tratamiento / barreras hidráulicas

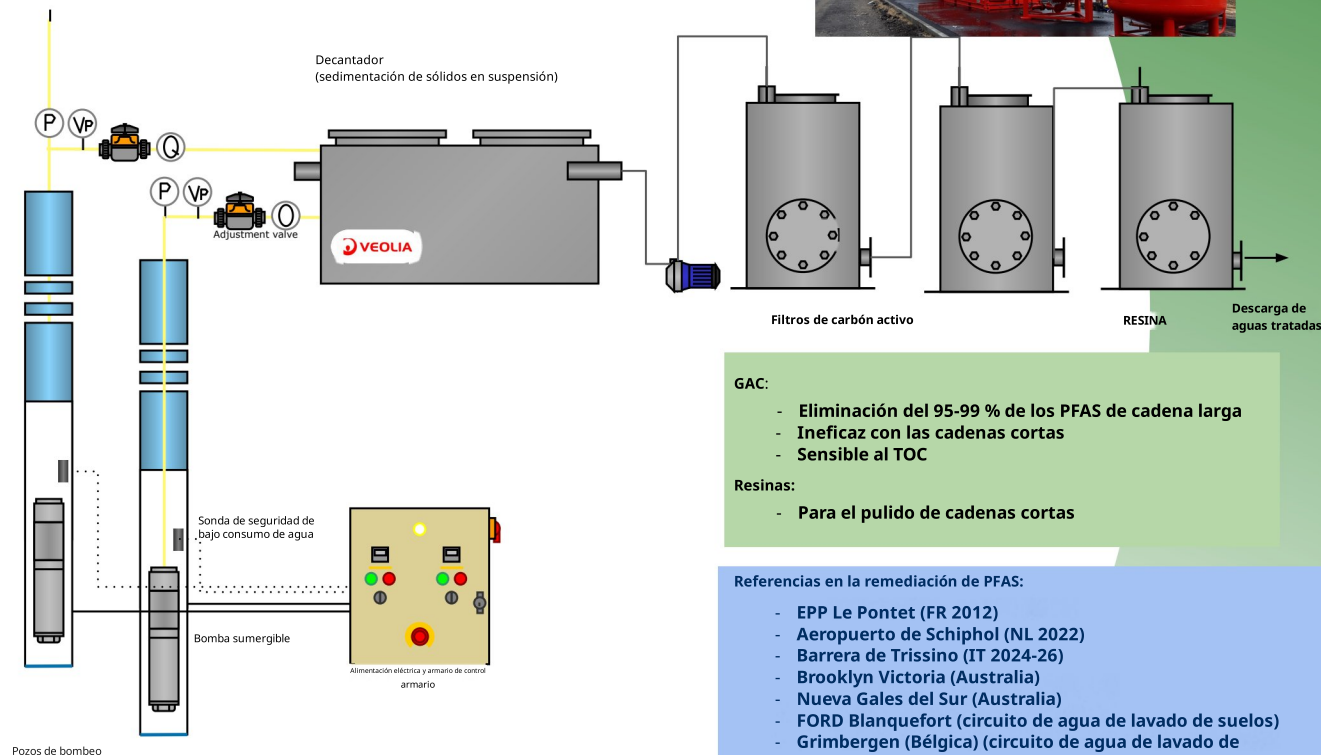
Carbón activado + resina: el método de referencia

Dirección del
flujo de las aguas
subterráneas



Barrera hidráulica

Detiene la propagación de la
contaminación
Reduce la contaminación de
la pluma



GAC:

- Eliminación del 95-99 % de los PFAS de cadena larga
- Ineficaz con las cadenas cortas
- Sensible al TOC

Resinas:

- Para el pulido de cadenas cortas

Referencias en la remediación de PFAS:

- EPP Le Pontet (FR 2012)
- Aeropuerto de Schiphol (NL 2022)
- Barrera de Trissino (IT 2024-26)
- Brooklyn Victoria (Australia)
- Nueva Gales del Sur (Australia)
- FORD Blanquefort (circuito de agua de lavado de suelos)
- Grimbergen (Bélgica) (circuito de agua de lavado de tierra)

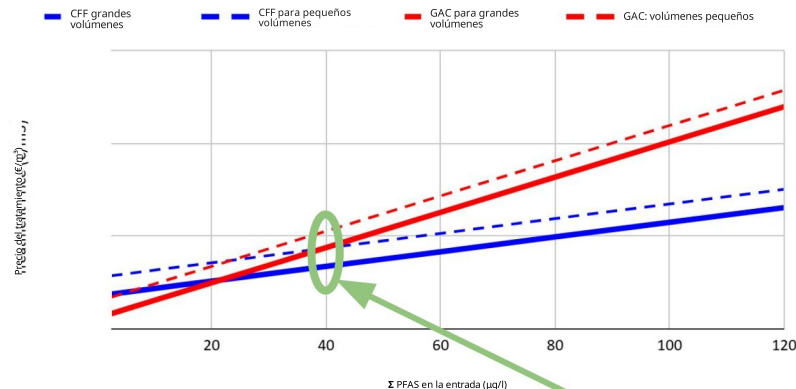
Unidad de tratamiento de agua CFF (fraccionamiento continuo de espuma)

Nuevo concepto (patente en trámite)

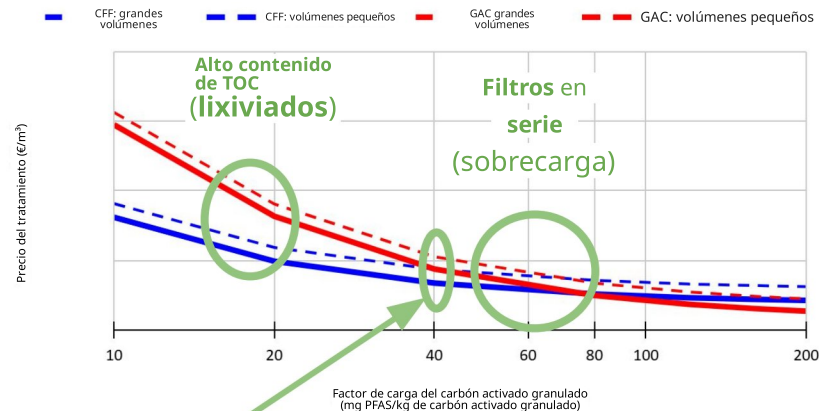
CFF con postratamiento de aire/agua con carbón activado granulado (GAC) en comparación con el tratamiento 100 % con GAC. Mismo volumen tratado

Hipótesis / DATOS	Unidad	PFBA	PFOA	PFHxS	PFOS	Suma de PFAS
Regulación sobre los COP	mg/kg-DM		1	1	50	
Concentración ENTRADA	µg/L	3	6	2	20	40
Relación de carga de CA (ruptura)	mg de PFAS/kg de carbón activado granulado	3	12	4	13	40
Caudal de tratamiento	m³/h	10				

KPI: concentración de ΣPFAS en la entrada, caudal de 10 m³/h, sin incluir montaje ni desmontaje



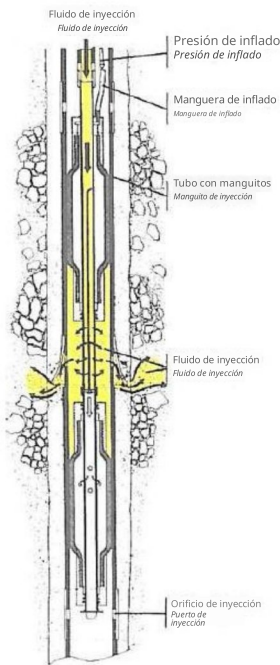
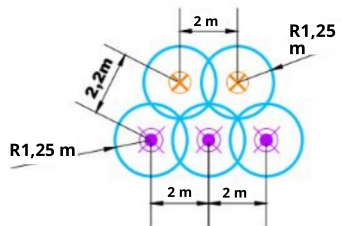
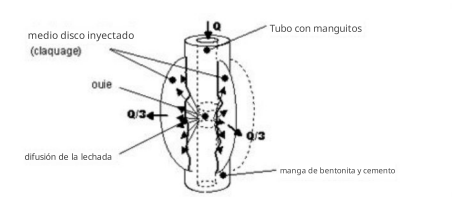
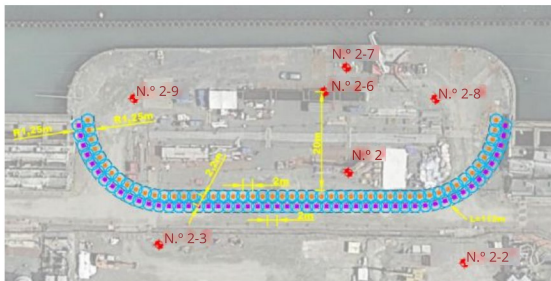
KPI: factor de carga de carbón activado granulado (GAC), concentración de ΣPFAS en la entrada = 40 µg/l, caudal de 10 m³/h, sin incluir montaje ni desmontaje



i-PRB: barreras reactivas permeables inyectadas / Fuente

IMPREGNACIÓN: Inyección a baja presión de suspensiones reactivas. Tubos revestidos / Empuje directo

FRACTURACIÓN HIDRÁULICA (suelos finos)



Ventajas de los tubos con manguitos:

- ❖ In situ = No destructivo (sin degradación geotécnica)
- ❖ Equipo reutilizable (reinyección) o perforación preventiva TAM
- ❖ Posibilidad de trabajos a gran profundidad (40-50 m)
- ❖ Sin modificación de la permeabilidad o con una modificación mínima
- ❖ Dimensionamiento a largo plazo (operación de «un solo paso» para las fuentes)
- ❖ Mezcla de reactivos = mezcla de contaminantes (PFAS / metales / compuestos clorados / sustancias energéticas)

Desventajas:

- ❖ Permeabilidad mínima $K > 10^{-5}$ m/s para permitir la impregnación; en caso contrario, fracturación hidráulica
- ❖ Alcance limitado de 1-2 m para la inyección de impregnación de partículas (efectos de filtración, etc.)
- ❖ La contaminación permanece fija en el suelo (sin destrucción de los PFAS)

Conclusiones

- ⇒ **Ausencia de normativa sobre suelos = dificultades para evaluar el nivel de contaminación**
 - no se toman medidas
 - no hay remediación
- ⇒ **La ausencia de normativa ≠ autorización** (p. ej.: vertederos de residuos inertes / plataformas)
- ⇒ **Las innovaciones están por todas partes / las aplicaciones in situ apenas están empezando**
- ⇒ **Las tecnologías existen. Es necesario validarlas en condiciones realistas, teniendo en cuenta no solo la concentración de PFAS, sino también los iones competidores, la materia orgánica natural y la matriz específica de agua/suelo en cuestión.**

Más información:
<http://remediation.veolia.com/>
jesus.casado@veolia.com