

# CONTAMINACIÓN DEL SUELO EN PLANTAS TERMOSOLARES, PROBLEMÁTICA Y SOLUCIONES TÉCNICAS.

Justo Tenorio Cózar  
Director de Consultoría  
KEPLER, INGENIERIA Y ECOGESTION, S.L.

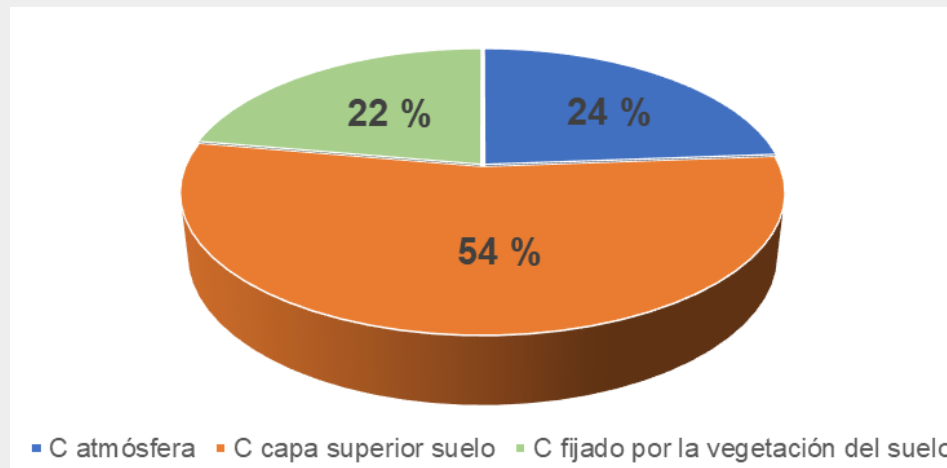


## ÍNDICE

1. EL SUELO COMO RECURSO NATURAL.
2. PROBLEMÁTICA EN PLANTAS TERMOSOLARES.
3. SOLUCIONES TÉCNICAS DE DESCONTAMINACIÓN.
4. CONCLUSIONES.

## EL SUELO, UN RECURSO NATURAL LIMITADO

El suelo alberga el 54% del carbono presente en la capa superior (<2 m) en forma de humus y edafón. Esta materia orgánica favorece el esponjamiento del suelo y por tanto su capacidad de retener el agua, indispensable para mantener la capa vegetal terrestre que protege al suelo de la erosión.

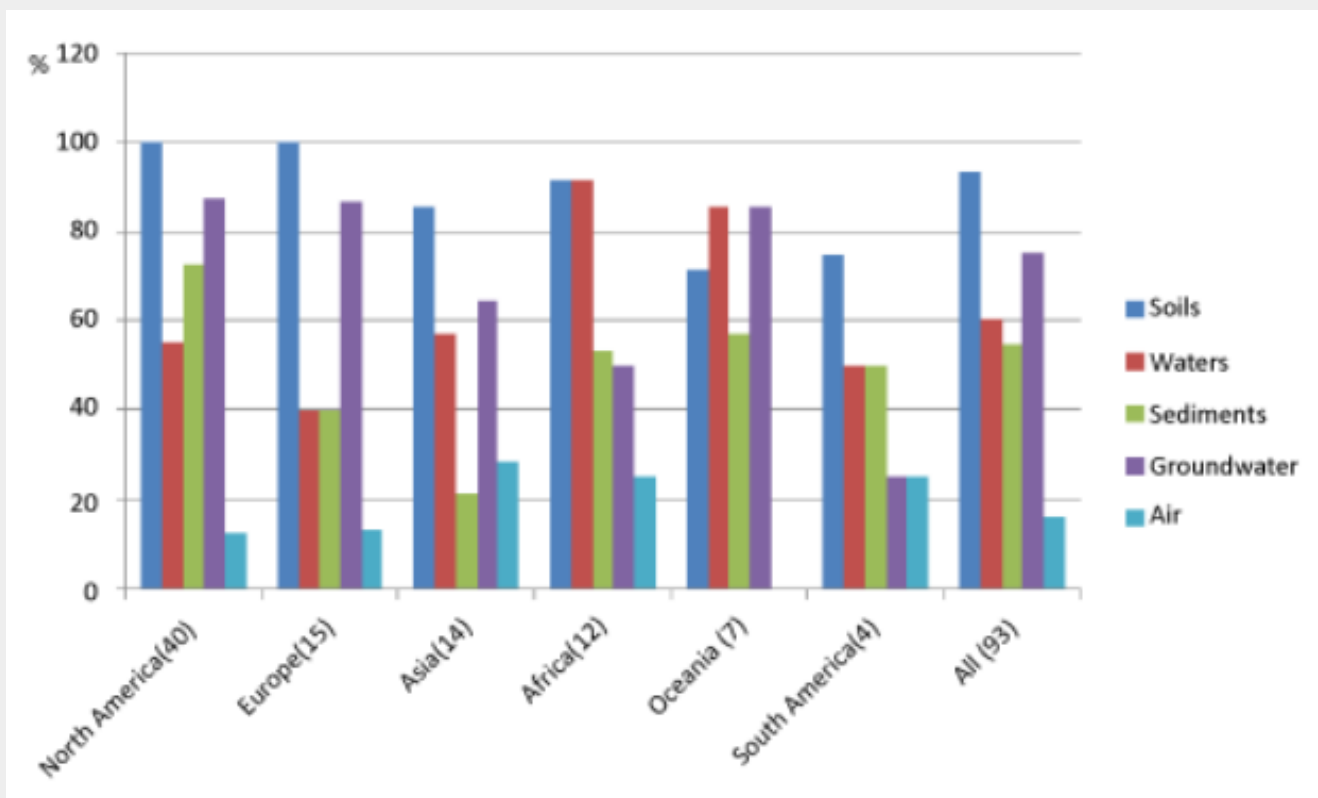


Distribución del carbono en el suelo (en la capa superior (naranja) y fijado como biomasa formando parte de la vegetación (verde) y en la atmósfera como CO<sub>2</sub> (azul) (%).

Este hecho pone de manifiesto la importancia de conservar la salud del suelo y recuperarlo suelo sin alterar su diversidad microbiana, sus propiedades hidrofísicas y su contribución clave como sumidero de carbono en la lucha contra el cambio climático.

## EL SUELO, UN RECURSO NATURAL LIMITADO

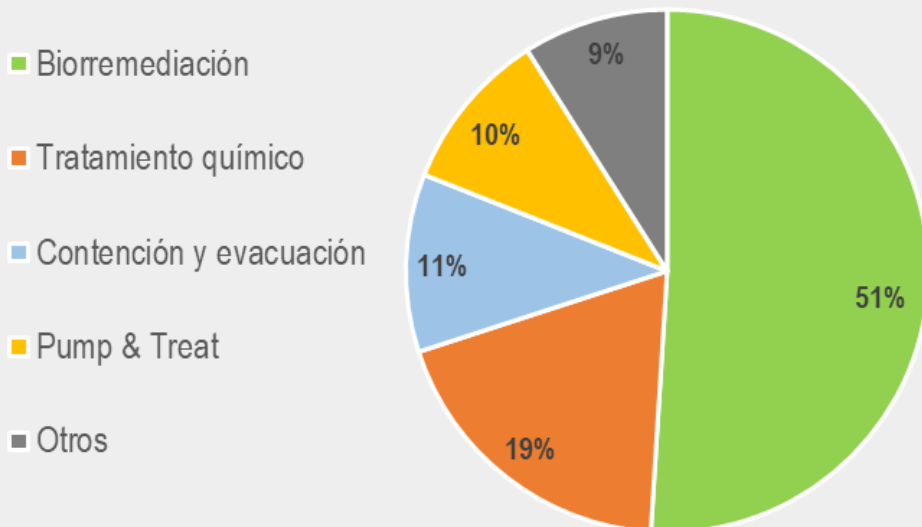
El suelo y las aguas subterráneas asociadas son con diferencia el recurso más contaminado a nivel mundial en comparación con el resto de matrices ambientales.



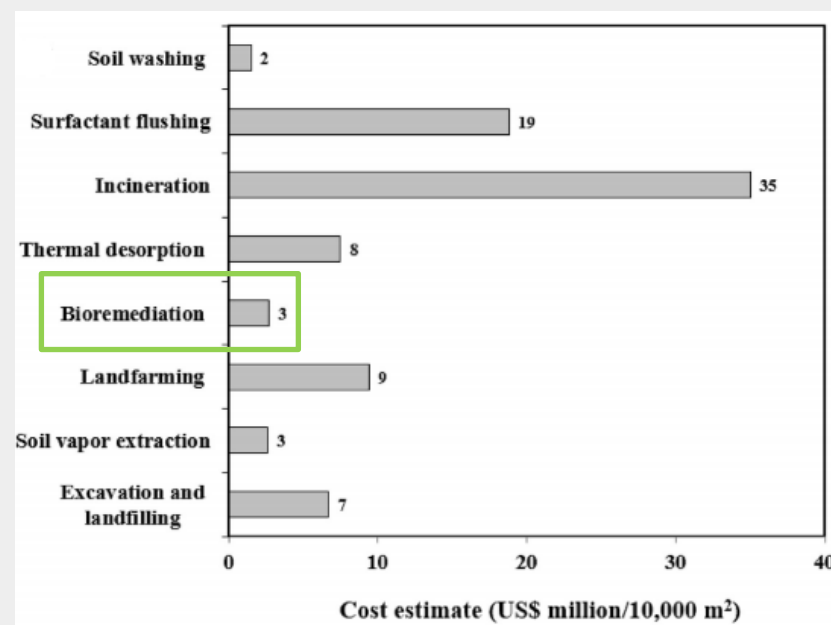
Distribución de ambientes contaminados bajo investigación en el mundo. Los valores se expresan en porcentaje en función del total de datos recibidos de cada continente, los cuales se indican entre paréntesis.

## LA DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS A ESCALA GLOBAL

En la actualidad, la biorremediación se presenta como una de las técnicas más sostenibles a nivel técnico, económico y ambiental con el fin de eliminar la contaminación del suelo sin alterar sus propiedades.



Principales técnicas de descontaminación aplicadas a nivel mundial (Elekwachi et al., 2014).

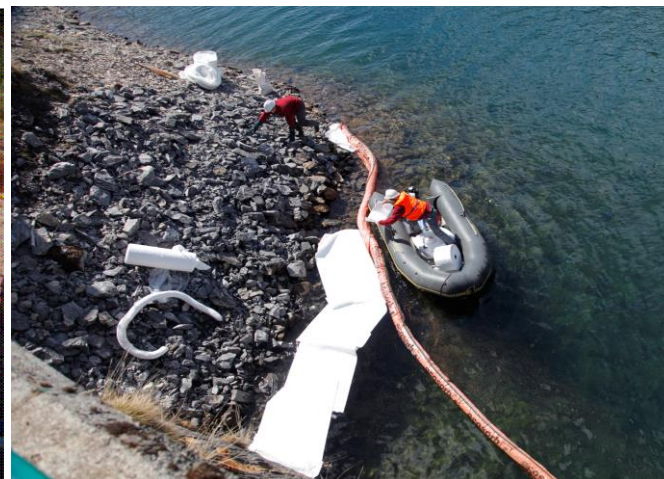


**Gráfico 4.** Coste (millones \$ US A/10.000 m²) asociado a las principales técnicas de descontaminación según la U.S. Environmental Protection Agency | US EPA



### TIPOS DE EMPLAZAMIENTOS AFECTADOS:

#### Vertidos accidentales en carretera



#### Estaciones de servicio



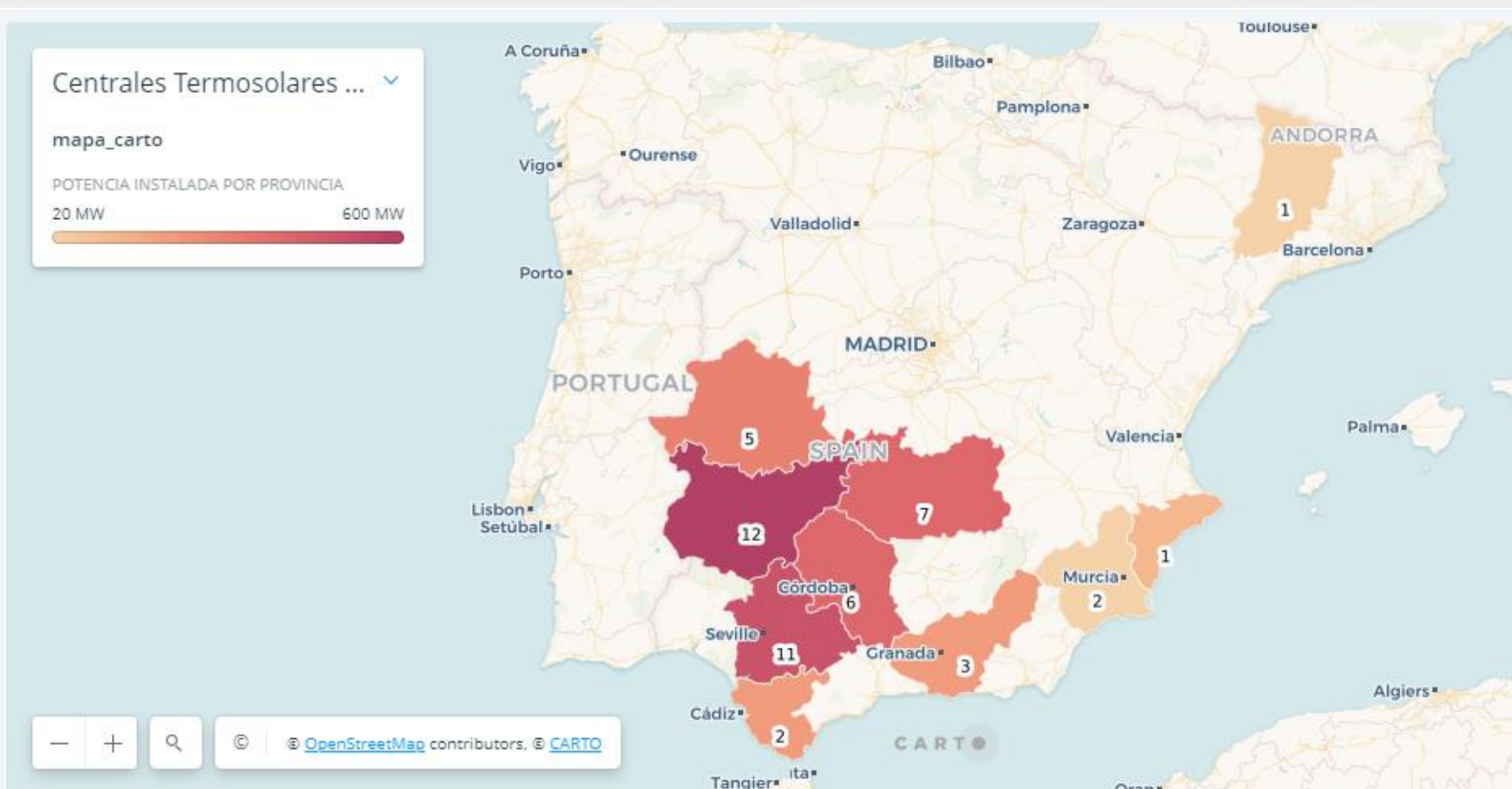
#### Centrales térmicas



#### Centrales termosolares



## EL SECTOR TERMOSOLAR EN ESPAÑA:



España cuenta con 49 centrales termosolares operativas que suman 2.300 MW y que fueron conectadas entre 2007-2013. (45% en Andalucía)

## **CONSIDERACIONES GENERALES**

- Las centrales termosolares construidas en España cuentan con sus autorizaciones administrativas tras los estudios de evaluación ambiental correspondientes.
- Las centrales están dotadas de sistemas de monitorización y vigilancia que, entre otras funciones, ayudan a la detección rápida de posibles incidencias que pudieran tener impacto ambiental. Los sistemas de control de las centrales generan en tiempo real alarmas y actuaciones automáticas que pueden prevenir incidentes.
- Disponen, asimismo, de equipos para cumplir rigurosamente con toda la normativa laboral en materia de seguridad y salud, así como de otros equipos destinados a la monitorización de parámetros medioambientales.
- Las centrales tienen personal de continuo en planta, el cual se dedica tanto a producir como a realizar rondas sistemáticas de vigilancia para mejorar la detección temprana de posibles anomalías operativas.
- Las centrales disponen de planes de seguridad detallados entre los que se incluyen los planes de emergencia interior y exterior, diseñados acorde a las normativas existentes y a las particularidades de sus entornos.



## **PRINCIPAL INQUIETUD**

Medioambientalmente genera inquietud que las centrales termosolares cilindro-parabólicas hagan uso del Fluido de Transferencia de Calor (HTF).

Sin embargo la técnica y el estado del arte de la tecnología dota de herramientas suficientes para aumentar la fiabilidad y la seguridad de las instalaciones, minimizando así eventuales impactos:

El fluido circula en un circuito completamente confinado para reducir la exposición al medio.

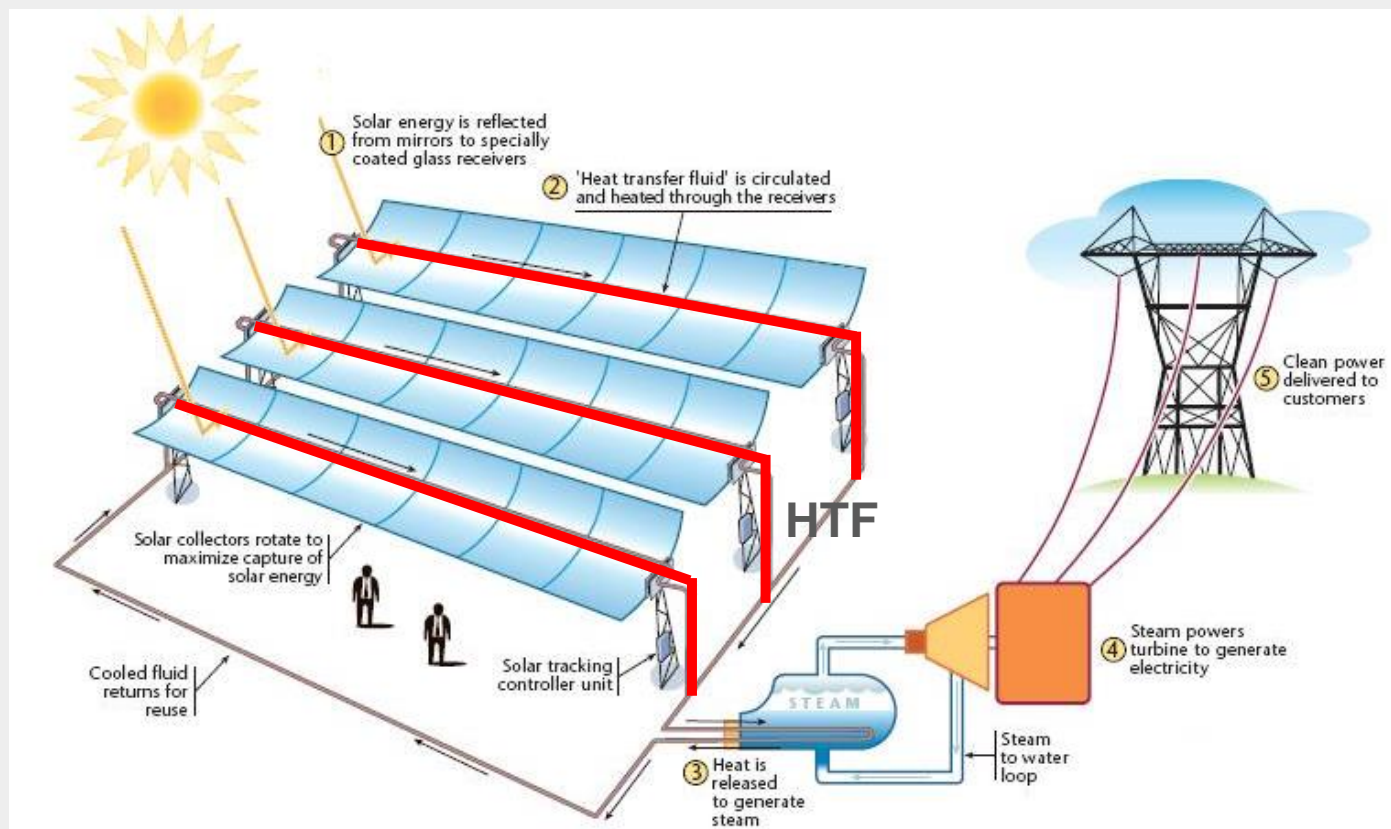
En un derrame accidental, ya sea en las conexiones con movimiento, por rotura de tubos o en el sellado de determinados equipos, además están activos los sistemas de detección rápida y actuadores en válvulas para el aislamiento de la parte del circuito con alguna incidencia.

Adicionalmente se ha mejorado el rendimiento con actuaciones específicas:

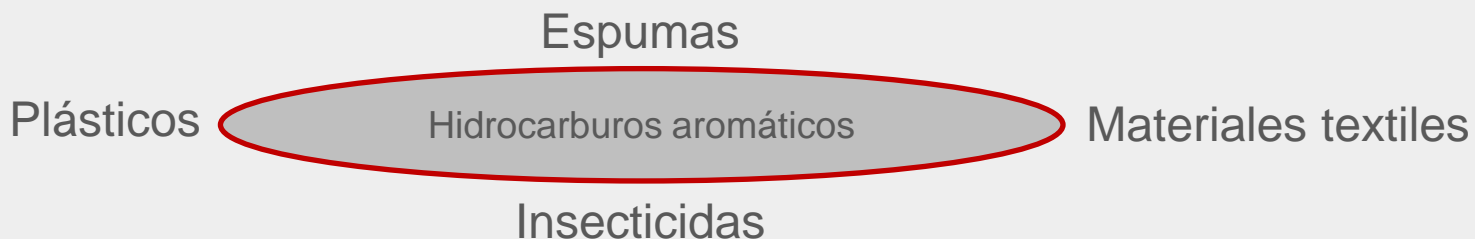
- Control de venteos y recogida hacia el sistema de “ullage” reduciendo drásticamente emisiones a la atmósfera
- Aumento de la seguridad en todos los elementos de los lazos juntas rotatorias y mangueras flexibles

## ¿QUÉ ES EL ACEITE TÉRMICO HTF?

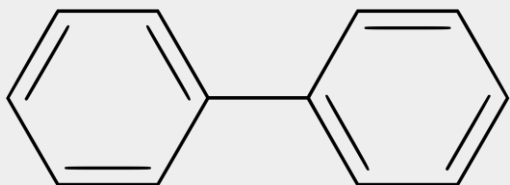
Las Centrales Termosolares utilizan el fluido térmico para transportar la energía térmica captada por los espejos parabólicos y acumulada en los colectores centrales por los que circula el HTF.



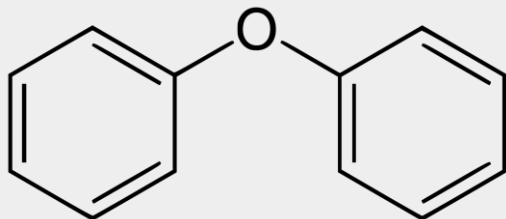
## ¿QUÉ SON EL BIFENILO Y EL ÓXIDO DE DIFENILO?



En esta proporción forman el aceite térmico (“Heat Transfer Fluid”, **HTF**)



**27% bifenilo ( $C_{12}H_{10}$ )**



**73% óxido de difenilo ( $C_{12}H_{10}O$ )**



El HTF puede trabajar en fase líquida entre los 15°C y los 400°C

***PROBLEMÁTICA EN CUANTO A LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS***

Las características propias del aceite térmico HTF:

El HTF es un compuesto hidrófobo con una elevada adsorción en el suelo

El HTF es tóxico para los humanos y los ecosistemas naturales

**El HTF presenta una elevada biodegradabilidad para ciertos microorganismos**

**BIORREMEDIACIÓN**

Proceso sostenible desde el punto de vista económico y ambiental



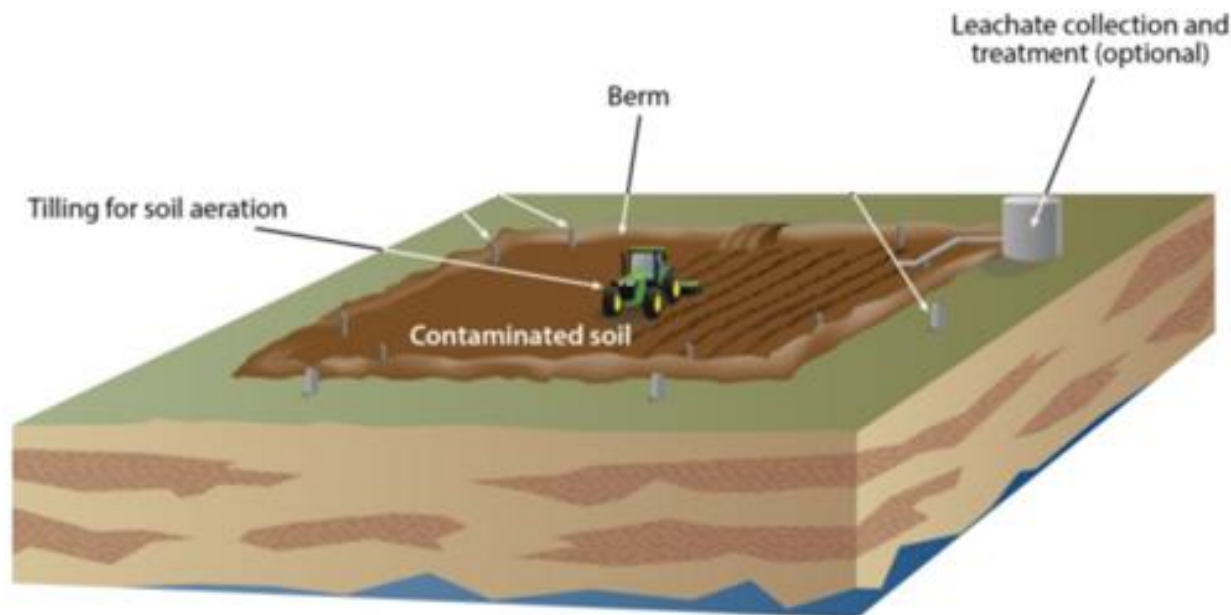
### ***PROBLEMÁTICA EN CUANTO A LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS***

Otras circunstancias propias del emplazamiento donde se ubica la planta termosolar:

1. Tipo de suelo.
2. Presencia de aguas subterráneas y/o ríos, arroyos, etc.
3. Estructuras propias de la planta sin posibilidad de desmontaje.
4. Localización de la planta cercano a actividades antropogénicas sensibles (cultivos, viviendas, zonas protegidas, etc).

**CASO REAL:**

- Vertido accidental de HTF en campo solar (España)
- 4.500 tn de suelo contaminado
- Concentración media de 800 ppm TPH  $C_{12}$ - $C_{16}$
- Sin limitaciones de espacio para la ejecución del tratamiento

**Tratamiento Off-site mediante Landfarming. Técnica con bioaumentación**

## TRATAMIENTO OFF-SITE DEL SUELO MEDIANTE LANDFARMING

1.1. **Excavación selectiva urgente** del área afectada para parar el avance del vertido, minimizar el daño ambiental y transportar el residuo a la zona de tratamiento.



Vertido accidental  
claramente sustancial.

**Título VI Actuaciones  
especiales**

**Capítulo I Actuaciones en  
casos sobrevenidos**

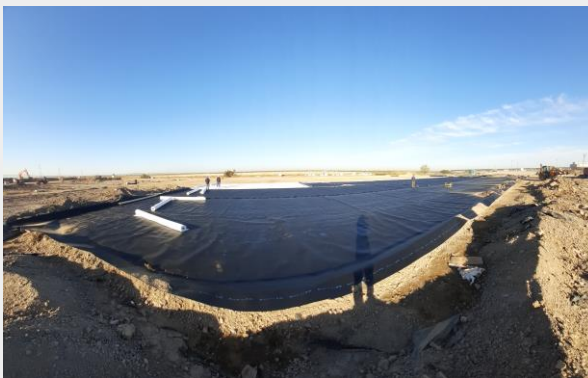
**Decreto 18/2015**





## TRATAMIENTO OFF-SITE DEL SUELO MEDIANTE LANDFARMING

1.2. Condiciones: Instalación de una lámina termosellada impermeable y una barrera perimetral para contener posibles lixiviados en una arqueta de recogida.



2. Distribución del suelo contaminado colocado en un total de 5 parcelas de 60 m<sup>2</sup>





## TRATAMIENTO OFF-SITE DEL SUELO MEDIANTE LANDFARMING

3. La actividad microbiológica fue estimulada aplicando oxígeno, nutrientes y humedad para promover la biodegradación de HTF.



Se utilizó un tractor con aperos de labranza para la homogeneización de los nutrientes y la aplicación del inóculo bacteriano y favorecer la difusión del oxígeno.

## TRATAMIENTO OFF-SITE DEL SUELO MEDIANTE LANDFARMING

- Los principales parámetros monitorizados durante el proceso de biodegradación fueron:

Conductividad eléctrica

pH

Temperatura

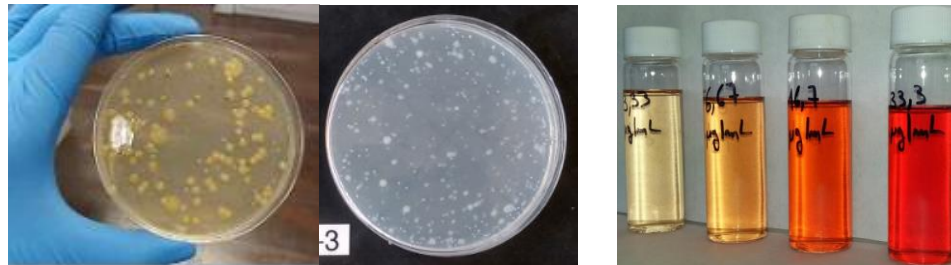
Potencial REDOX

Concentración de nutrientes ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{K}^+$ )

% Humedad

**Actividad microbiana** → Parámetro clave para evidenciar la degradación microbiológica

La actividad microbiana fue monitorizada a través del recuento en placa Petri de bacterias heterótrofas degradadoras de aceite térmico y también a través de cuantificación de la actividad enzimática de la deshidrogenasa, la cual está directamente relacionado con la rotura de los enlaces C-H durante la degradación biológica.



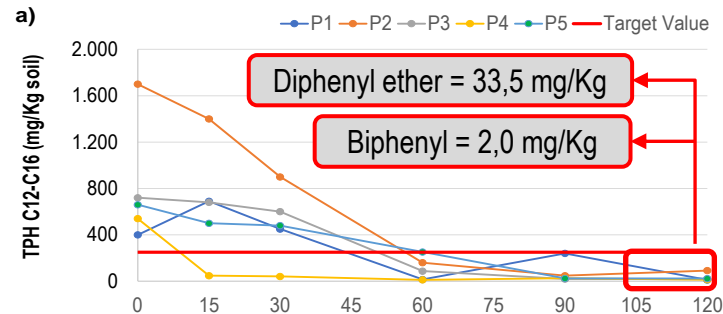
## RESULTADOS DEL LANDFARMING

Después de dos meses de tratamiento biológico la [TPH C<sub>12</sub>-C<sub>16</sub>] en todas las parcelas se redujo por debajo del valor objetivo fijado por el Análisis Cuantitativo de Riesgos para la Salud Humana (ACR) = 87% de reducción sobre el valor inicial.

La concentración final de **30 ppm TPH C<sub>12</sub>-C<sub>16</sub>** se alcanzó después de cuatro meses de tratamiento, estando por debajo del Nivel Genérico de Referencia para uso industrial.

La densidad de población microbiana mostró valores similares para bacterias heterótrofas y degradadoras de aceite térmico, lo cual demostró la eficacia de la estrategia de bioaumentación para escenarios afectados por vertidos recientes.

Se mantuvo una correlación entre la eliminación del contaminante y la evolución de la actividad de la enzima deshidrogenasa y la población degradadora, poniendo de manifiesto la degradación biológica del aceite térmico.

**DOE**

NÚMERO 64

Lunes, 6 de abril de 2015

10145

### CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, DESARROLLO RURAL, MEDIO AMBIENTE Y ENERGÍA

DECRETO 49/2015, de 30 de marzo, por el que se regula el régimen jurídico de los suelos contaminados en la Comunidad Autónoma de Extremadura. (2015040054)

#### B. Niveles genéricos de referencia (NGR) de óxido de difenilo y difenilo en suelos, aplicables en Extremadura

Protección de la salud humana<sup>(1)</sup>

Sustancia	Número CAS	Uso industrial	Uso urbano	Otros usos
		(mg/kg peso seco)		
Óxido de difenilo	101-84-8	75	8 <sup>a</sup>	0,8
Difenilo	92-52-4	10	7	3

(1) Los NGR se han calculado siguiendo los criterios establecidos en el anexo VII del Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, considerando sus efectos sistémicos

(a) En aplicación del criterio de contigüidad



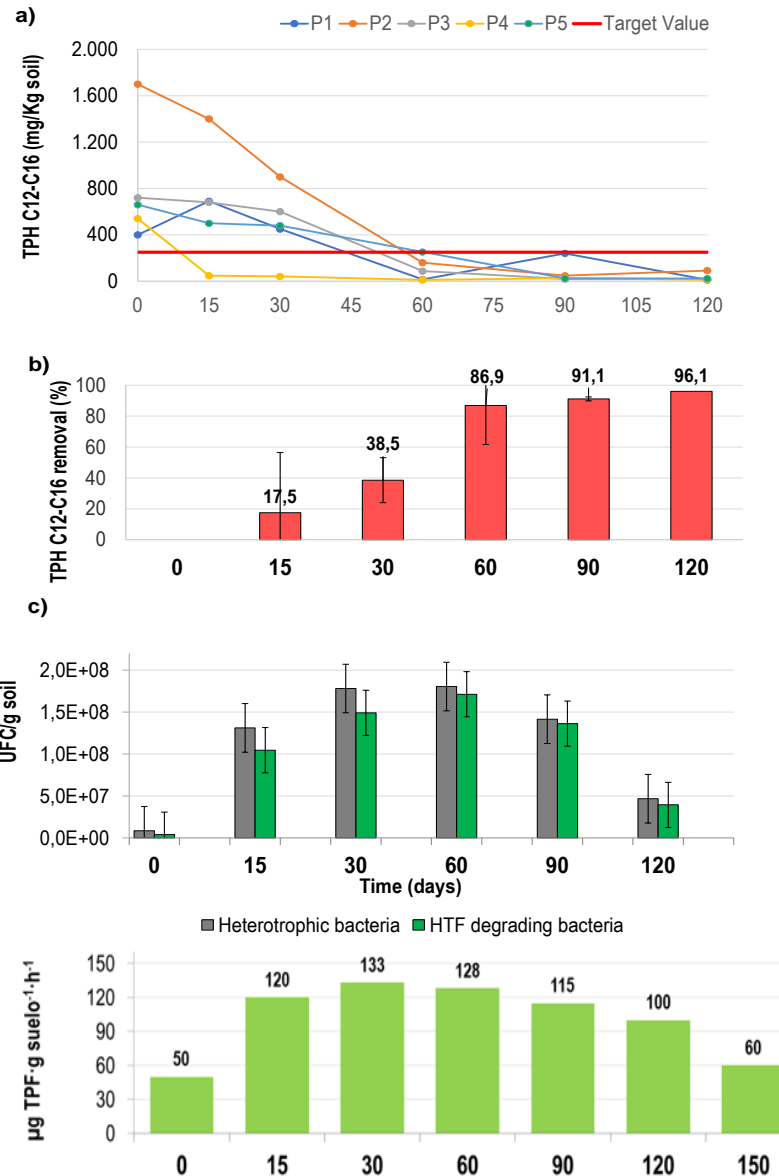
## RESULTADOS DEL LANDFARMING

Después de dos meses de tratamiento biológico la [TPH C<sub>12</sub>-C<sub>16</sub>] en todas las parcelas se redujo por debajo del valor objetivo fijado por el Análisis Cuantitativo de Riesgos para la Salud Humana (ACR) = 87% de reducción sobre el valor inicial.

La concentración final de **30 ppm TPH C<sub>12</sub>-C<sub>16</sub>** se alcanzó después de cuatro meses de tratamiento, estando por debajo del Nivel Genérico de Referencia para uso industrial.

La densidad de población microbiana mostró valores similares para bacterias heterótrofas y degradadoras de aceite térmico, lo cual demostró la eficacia de la estrategia de bioaumentación para escenarios afectados por vertidos recientes.

Se mantuvo una correlación entre la eliminación del contaminante y la evolución de la actividad de la enzima deshidrogenasa y la población degradadora, poniendo de manifiesto la degradación biológica del aceite térmico.

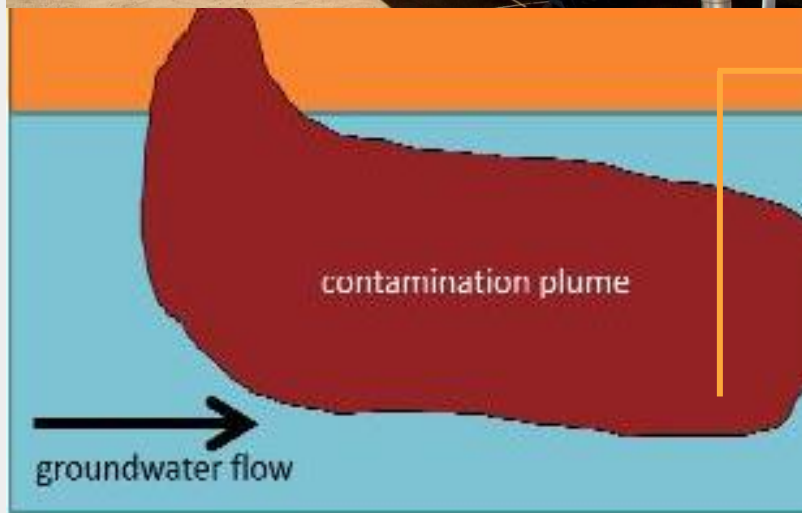




## **LA BIORREMEDIACION REPRESENTA UNA TECNOLOGIA COMPETITIVA Y SOSTENIBLE PARA EL TRATAMIENTO DE SUELO CONTAMINADO CON ACEITE TÉRMICO**

- Esta biotecnología evita el depósito de los suelos contaminados en vertederos y, en consecuencia, contribuye a frenar la acumulación de pasivos ambientales.
- Recupera el suelo sin cambiar sus propiedades hidrofísicas, las cuales han tardado miles de años en formarse.
- Debemos promover esta biotecnología como herramienta clave en el desarrollo de un modelo de economía circular en el contexto de mitigar el cambio climático.
- La legislación debe actualizarse para favorecer que el destino final de los suelos biorremediados cumplan los objetivos de la valorización ambiental.

## TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS ASOCIADAS

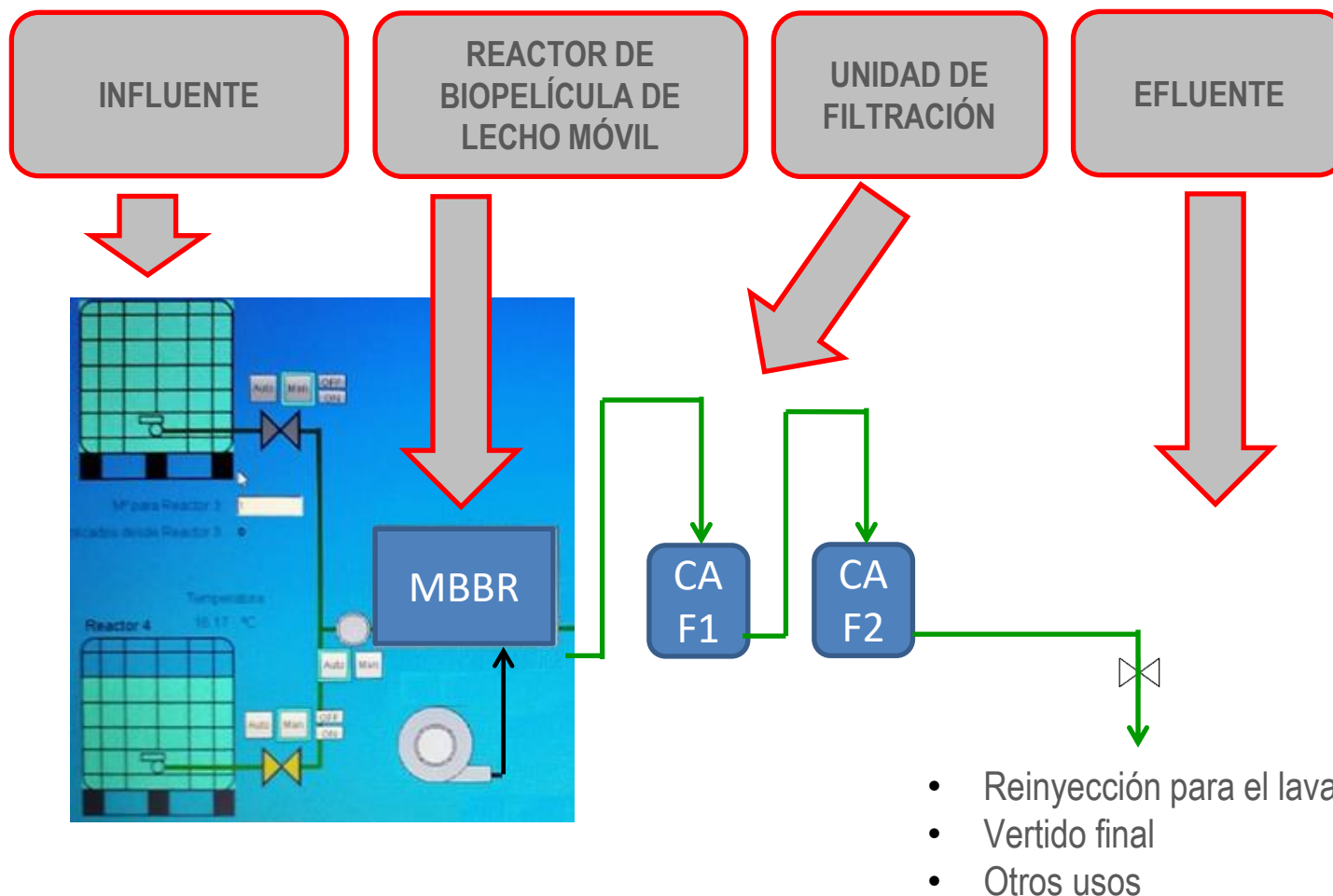


A altas temperaturas y/o periodo de lluvias, la movilidad del HTF aumenta

**Planta de tratamiento  
para el agua subterránea**

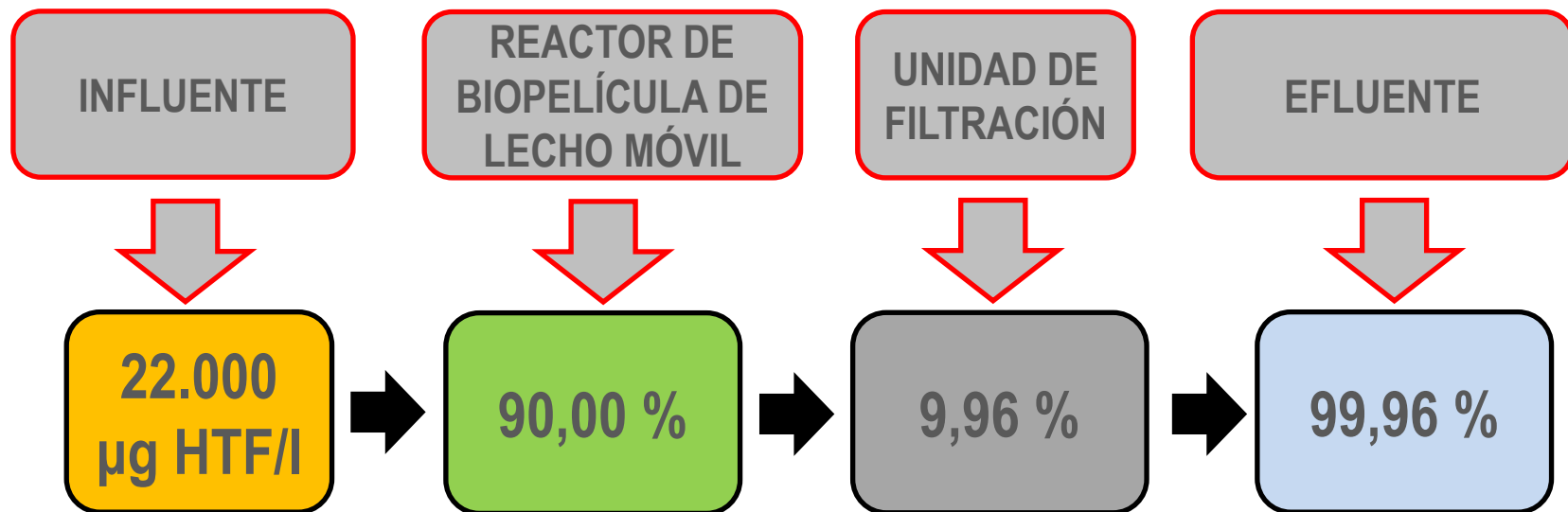
Cuando el HTF alcanza el acuífero, el agua subterránea puede ser bombeada para ser tratada *ex-situ* en una planta

## TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS ASOCIADAS



## TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS ASOCIADAS

- Concentración media 22.000  $\mu\text{g}$  HTF/l de agua durante dos años
- Caudal de alimentación = 2  $\text{m}^3/\text{d}$

**Eficiencia eliminación global**

**Límites de vertido establecidos por la  
Administración competente**

**Bifenilo < 10  $\mu\text{g}/\text{l}$  ✓  
Óxido de difenilo < 10  $\mu\text{g}/\text{l}$**



## TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS ASOCIADAS



## CONCLUSIONES:

- El sector termosolar en España representa un importante papel en la generación renovable de energía. Andalucía es la CCAA que tiene el mayor número de plantas termosolares (45% del total).
- Desde la puesta en marcha de las plantas termosolares la gestión ambiental de los incidentes y las medidas preventivas han ido madurando para disminuir el daño ambiental y la detección temprana de afecciones al suelo.
- Los problemas de contaminación en suelo derivados de vertidos accidentales por aceite térmico tienen a las MTD de descontaminación de suelo y agua a su disposición.
- Se estima necesario fijar criterios que puedan definir más concretamente los sucesos en los que se debería actuar según el procedimiento de actuación en casos sobrevenidos del Decreto 18/2015 (Título VI Capítulo I).
- Se consideran necesarios criterios específicos de valorización y normativa asociada con el fin de estandarizar y poner en alza las ventajas del proceso de biorremediación de suelos y aguas subterráneas frente a otras técnicas de descontaminación.



# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Justo Tenorio Cózar  
*jtenorio@kepler.es*  
*www.kepler.es*

 @Kepler\_Ing\_Ecog

 **KEPLER, Ingeniería y Ecogestión SL**



Día  
Mundial  
del Suelo



**Junta de Andalucía**  
Consejería de Agricultura, Ganadería,  
Pesca y Desarrollo Sostenible