



“Gestión de suelos potencialmente contaminados en EESS:  
identificación de focos, valoración de riesgos y mitigación de costes

Rosa María Enrique Márquez – KEPLER, Ingeniería y Ecogestión





## ¿Quién es KEPLER?

Fundada en 1995 como empresa de **consultoría** especializada en el **sector del medio ambiente y energías renovables**.

**30 años** de actividad

- Más de 550 proyectos de descontaminación
- Más de 500 inspecciones de suelos y aguas
- Más de 300 intervenciones urgentes



## KEPLER en el Sector Hidrocarburos

- Gestión frente a siniestros medioambientales
- Grupo experto en Hidrocarburos (Transportes, Almacenamiento y EESS)
- Apoyo técnico y administrativo
- Investigación y Descontaminación de suelos y aguas

1998

Lanzamiento del servicio de **intervención urgente** (SIU), un servicio innovador que se ha convertido en un estándar para el sector de los Hidrocarburos

2000

Primer tratamiento microbiológico de un acuífero contaminado por Hidrocarburos en España

2015

Demostración científica, **por primera vez a nivel mundial**, de la degradación microbiológica de ETBEs y MTBEs en hidrocarburos

2023

Participación, como asesor técnico, en la **‘Guía de las mejores técnicas disponibles para la descontaminación de suelos’** aprobada por la Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul de la Junta de Andalucía



*Focos potencialmente  
contaminantes del  
suelo y las aguas  
subterráneas en EESS*

## Principales focos de contaminación

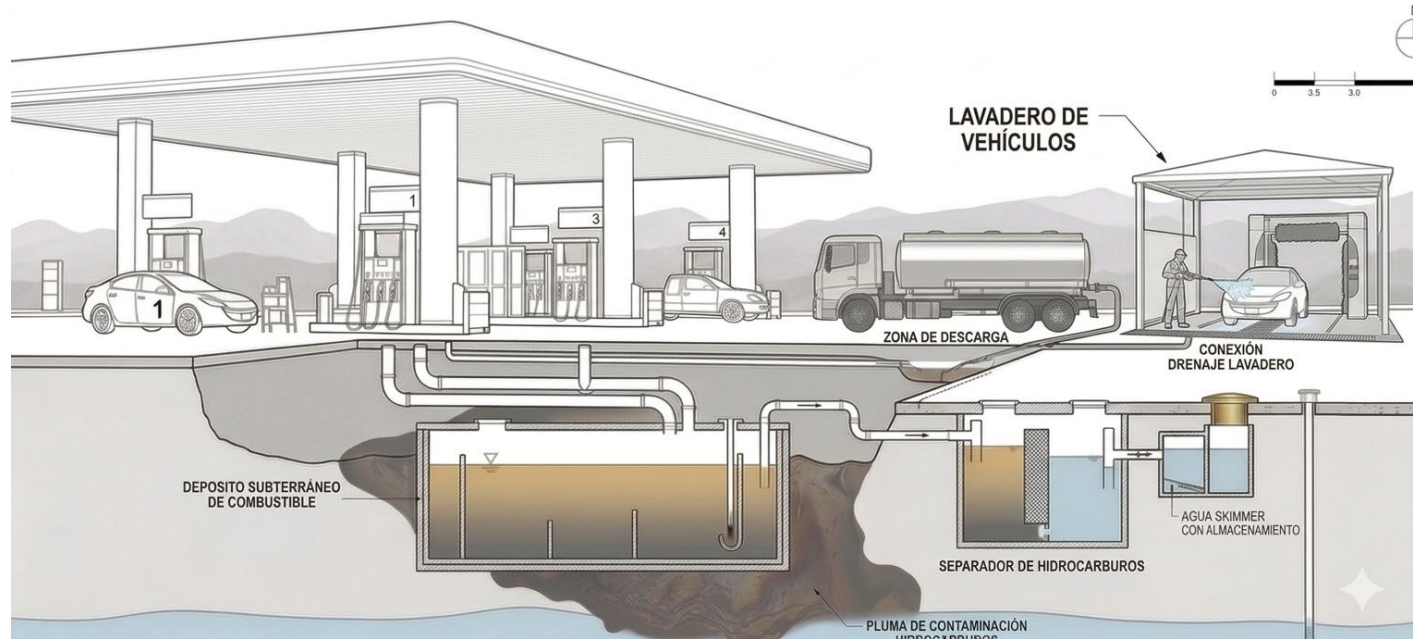
Depósitos de almacenamiento subterráneo de combustible

Separador de hidrocarburos

Zona de descarga  
Y conducciones subterráneas

Surtidores

Zona de limpieza de equipos y vehículos



## Principales focos de contaminación

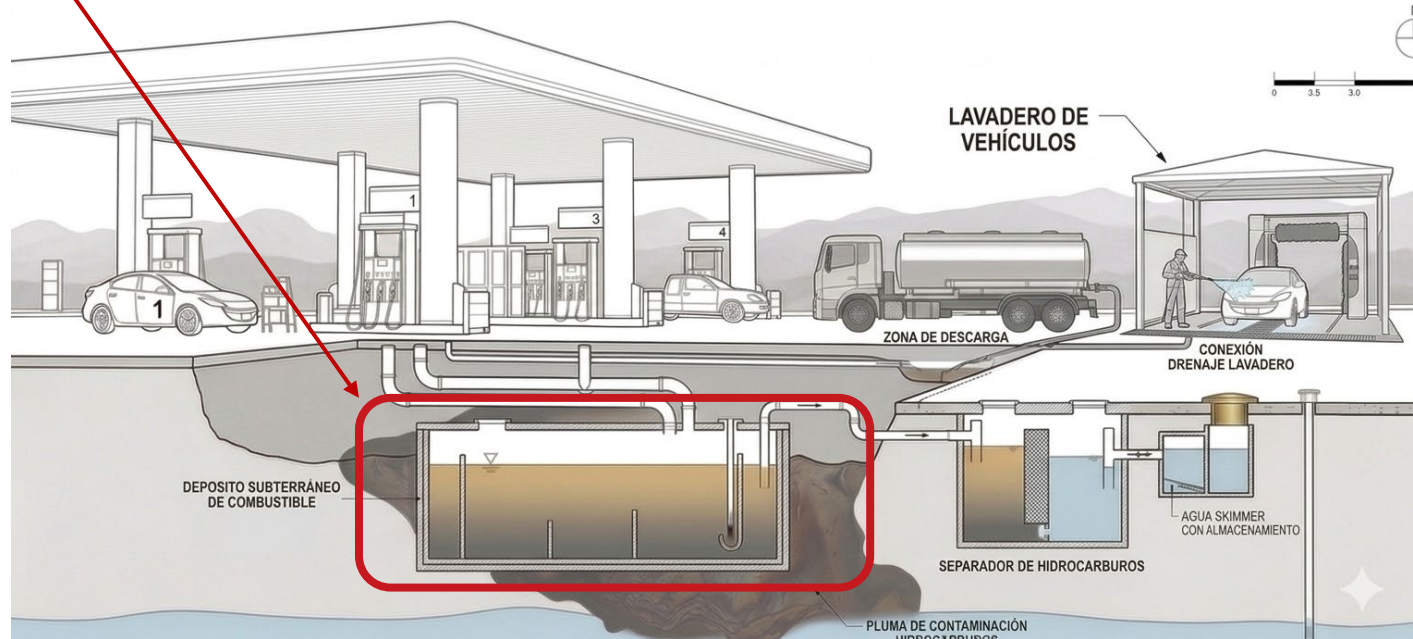
Depósitos de almacenamiento subterráneo de combustible

Separador de hidrocarburos

Zona de descarga  
Y conducciones subterráneas

Surtidores

Zona de limpieza de equipos y vehículos



## Principales focos de contaminación

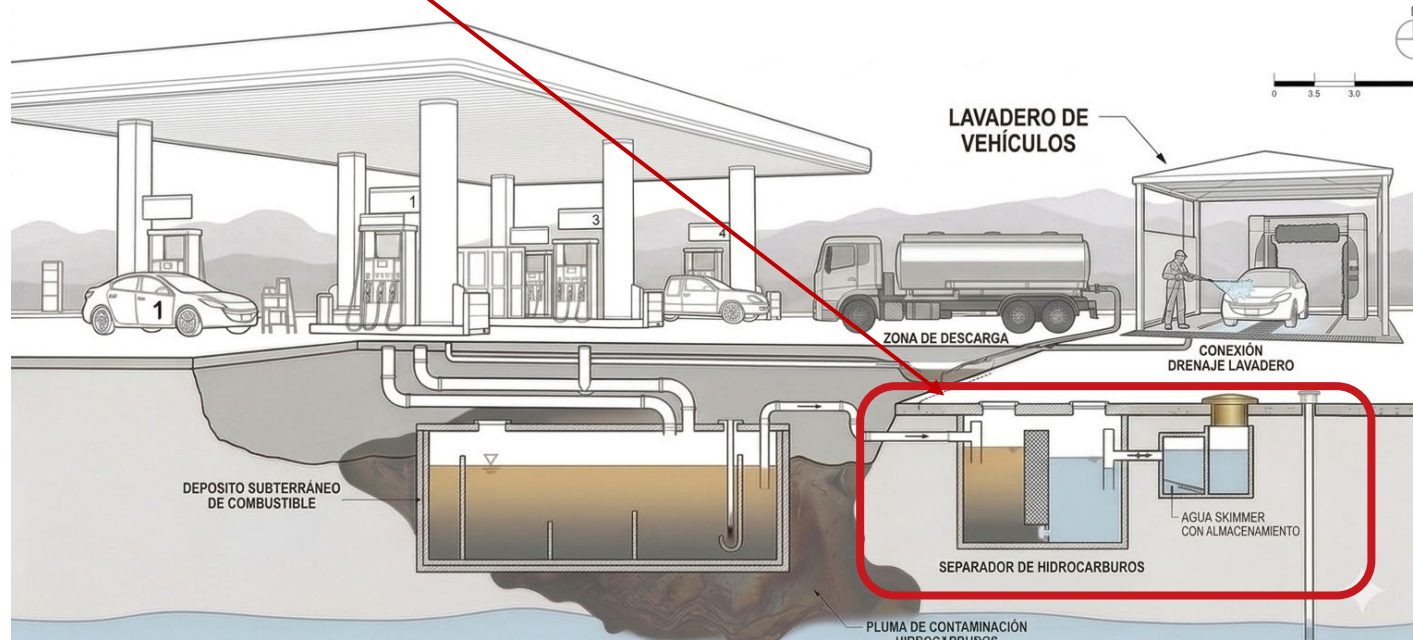
Depósitos de almacenamiento subterráneo de combustible

Separador de hidrocarburos

Zona de descarga y conducciones subterráneas

Surtidores

Zona de limpieza de equipos y vehículos



## Principales focos de contaminación

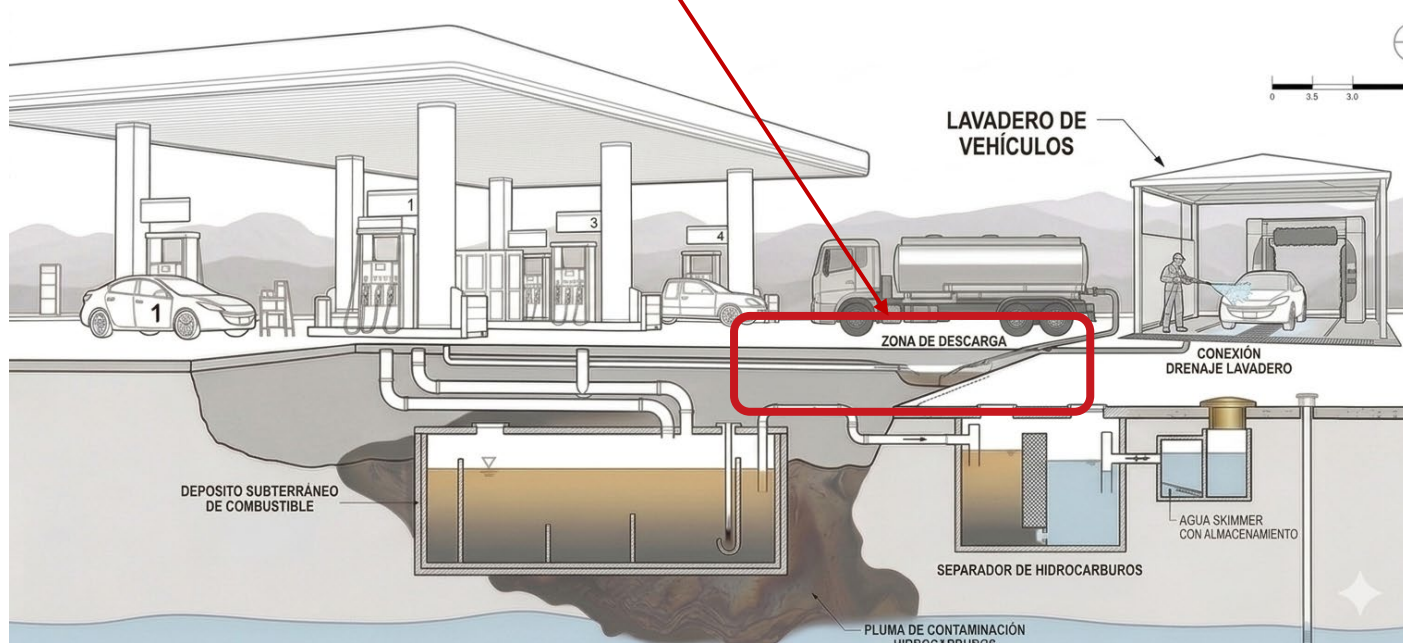
Depósitos de almacenamiento subterráneo de combustible

Separador de hidrocarburos

Zona de descarga  
Y tuberías subterráneas

Surtidores

Zona de limpieza de equipos y vehículos



## Principales focos de contaminación

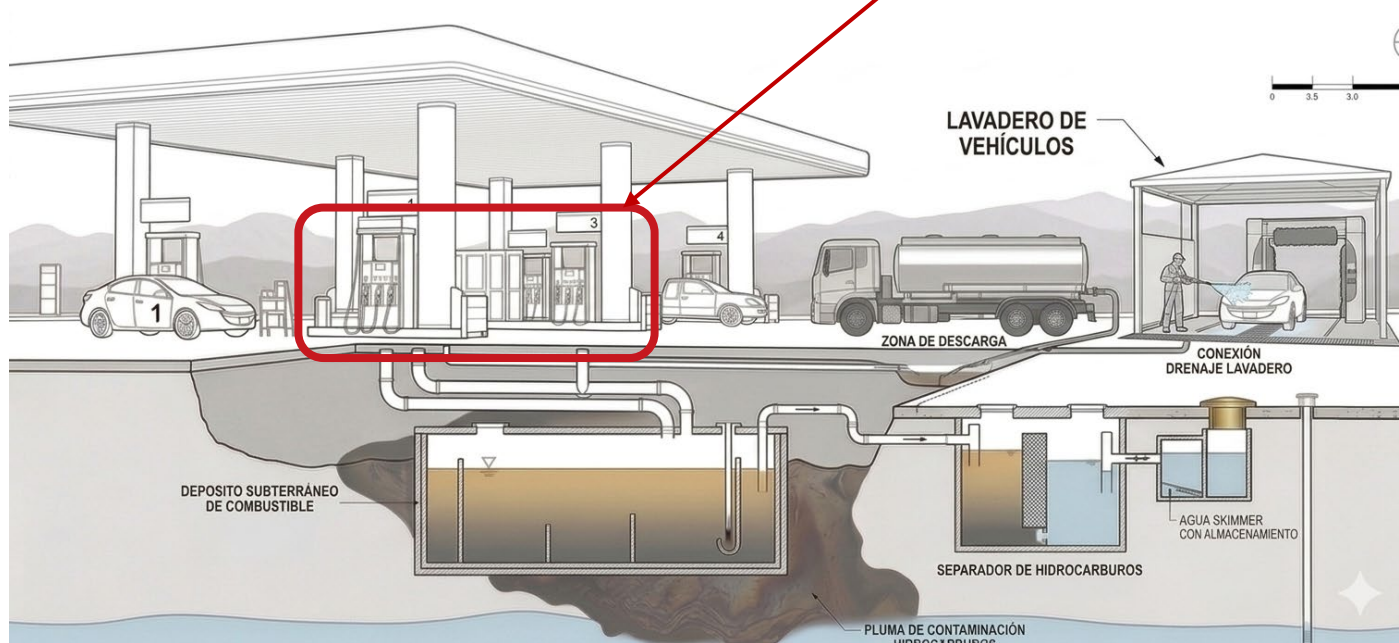
Depósitos de almacenamiento subterráneo de combustible

Separador de hidrocarburos

Zona de descarga y conducciones subterráneas

Surtidores

Zona de limpieza de equipos y vehículos



## Principales focos de contaminación

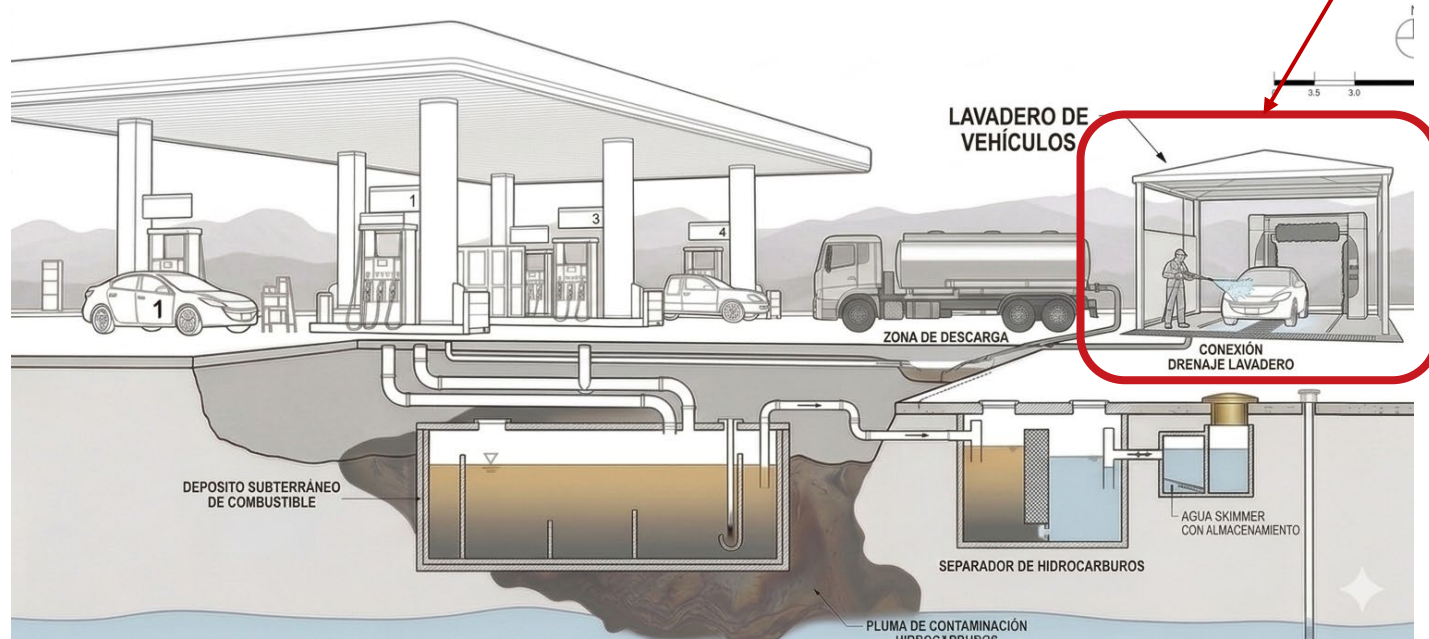
Depósitos de almacenamiento subterráneo de combustible

Separador de hidrocarburos

Zona de descarga y conducciones subterráneas

Surtidores

Zona de limpieza de equipos y vehículos





*Afección de los suelos  
y las aguas  
subterráneas y su  
impacto en la salud  
humana*

- Factores que influyen en la gravedad de la afección:
- Litología y Permeabilidad del Terreno
  - Profundidad del Nivel Freático
  - Gradiente Hidráulico



## ¿Qué se entiende por suelo contaminado?

“Aquel cuyas **características** han sido **alteradas negativamente** por la presencia de componentes químicos de carácter peligroso procedentes de la actividad humana, en concentración tal que comporte un **riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente.**”

Real Decreto 9/2005, de 14 de enero

Ley 7/2022, de 8 de abril



## ¿Cómo entran en el cuerpo y sus efectos?

### Vías de Exposición

- Inhalación
- Ingestión
- Contacto Dérmico

### Efectos

- Corto plazo: Mareos, cefaleas, irritación de ojos y mucosas, náuseas.
- Largo plazo: Daños en el sistema nervioso central, hígado y riñones.



El "Enemigo Público nº 1": El **Benceno**, es el componente más peligroso de la gasolina por ser:

- Carcinogénico (Grupo 1 - IARC): Existe evidencia científica de que causa leucemia y otros cánceres de la sangre.
- Mutagénico: Puede causar daños genéticos heredables.



*Investigación de la  
calidad de los suelos y  
las aguas en una EES*

## Alcance de Investigación

- 1) Diagnóstico e Información Previa
- 2) Diseño del plan de muestreo
- 3) Caracterización del suelo y las aguas subterráneas
- 4) Analítica de las muestras en laboratorio acreditado
- 5) Evaluación de la calidad del suelo y las aguas subterráneas

## 17020: Estándares de Inspección: Garantía Técnica y Legal

### Alcance de Investigación

1) Diagnóstico e Información Previa

2) Diseño del plan de muestreo

3) Caracterización del suelo y las aguas subterráneas

4) Análisis de las muestras en laboratorio acreditado

5) Evaluación de la calidad del suelo y las aguas subterráneas

- Recopilación de información: accidentes o fugas previas
- Estudio Histórico del emplazamiento: Potenciales APC previas
- Localización de receptores vulnerables: acuíferos, pozos de abastecimiento, escuelas o colegios cercanos



Fotografía aérea 1997 (Fuente:rediam)



Año 2020 (Rediam)



### Alcance de Investigación

1) Diagnóstico e Información Previa

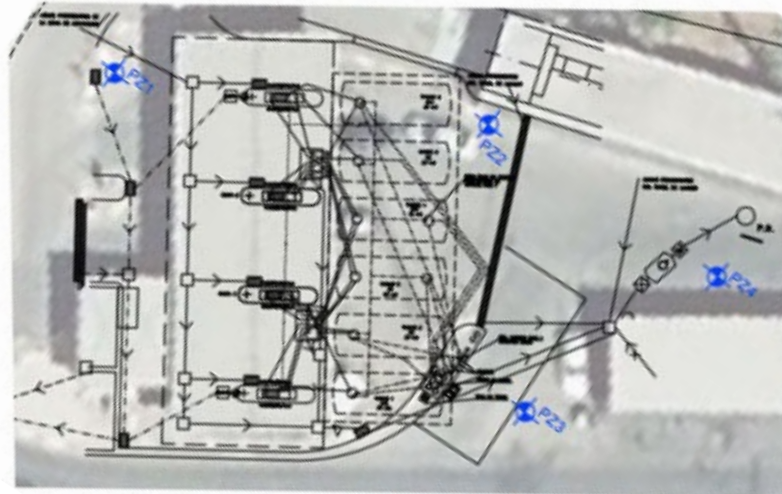
2) Diseño del plan de muestreo

3) Caracterización del suelo y las aguas subterráneas

4) Análisis de las muestras en laboratorio acreditado

5) Evaluación de la calidad del suelo y las aguas subterráneas

- Diseño modelo conceptual del emplazamiento
- Estimación del nivel freático y dirección y sentido del flujo del agua subterránea
- Ubicación estratégica de los puntos de muestreo en zonas de "aguas arriba" y "aguas abajo" de los focos
- Un mínimo de 3 PdM



### Alcance de Investigación

1) Diagnóstico e Información Previa

2) Diseño del plan de muestreo

3) Caracterización del suelo y las aguas subterráneas

4) Analítica de las muestras en laboratorio acreditado

5) Evaluación de la calidad del suelo y las aguas subterráneas

- Perforación para toma de muestras de suelo a diferentes profundidades
- Instalación de tubería piezométrica
- Desarrollo, Purgado del piezómetro y muestreo de las aguas subterráneas
- Medición de fase libre (en caso de existir)



### Alcance de Investigación

1) Diagnóstico e Información Previa

2) Diseño del plan de muestreo

3) Caracterización del suelo y las aguas subterráneas

4) Analítica de las muestras en laboratorio acreditado

5) Evaluación de la calidad del suelo y las aguas subterráneas

- Perforación para toma de muestras de suelo a diferentes profundidades
- Instalación de tubería piezométrica
- Desarrollo, Purgado del piezómetro y muestreo de las aguas subterráneas
- Medición de fase libre (en caso de existir)



## Alcance de Investigación

1) Diagnóstico e Información Previa

2) Diseño del plan de muestreo

3) Caracterización del suelo y las aguas subterráneas

4) Analítica de las muestras en laboratorio acreditado

5) Evaluación de la calidad del suelo y las aguas subterráneas

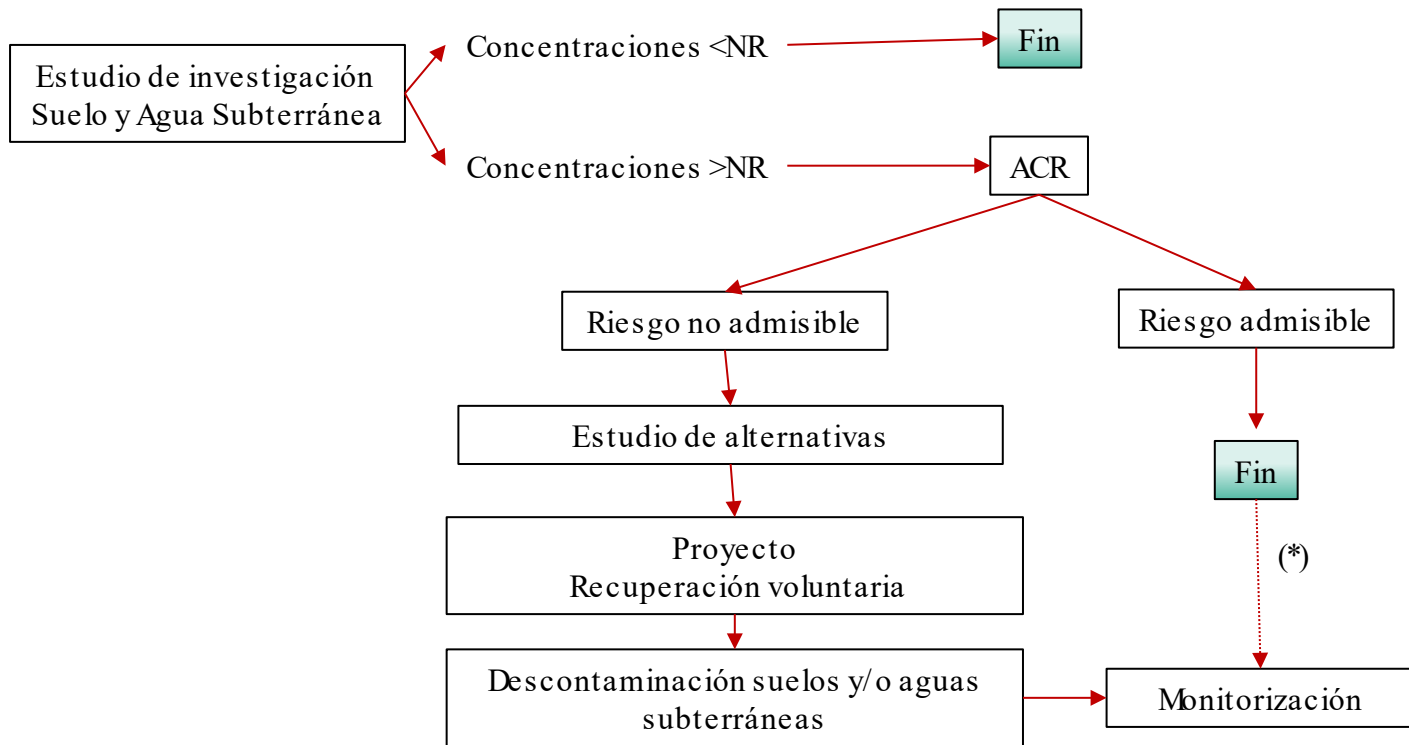
- Analítica a través de laboratorio acreditado mediante ISO 17025
- Determinación de parámetros específicos de hidrocarburos:
  - HC del petróleo con separación alifática y aromática
  - HC Monoaromáticos (BTEX)
  - HC Policíclicos Aromáticos (PAH)
  - Aditivos (MTBE y ETBE)
  - Plomo (si aplica)
  - Clorados (Solo en zona de lavadero)



# Proceso habitual de toma de decisiones

## Alcance de Investigación

- 1) Diagnóstico e Información Previa
- 2) Diseño del plan de muestreo
- 3) Caracterización del suelo y las aguas subterráneas
- 4) Analítica de las muestras en laboratorio acreditado
- 5) Evaluación de la calidad del suelo y las aguas subterráneas

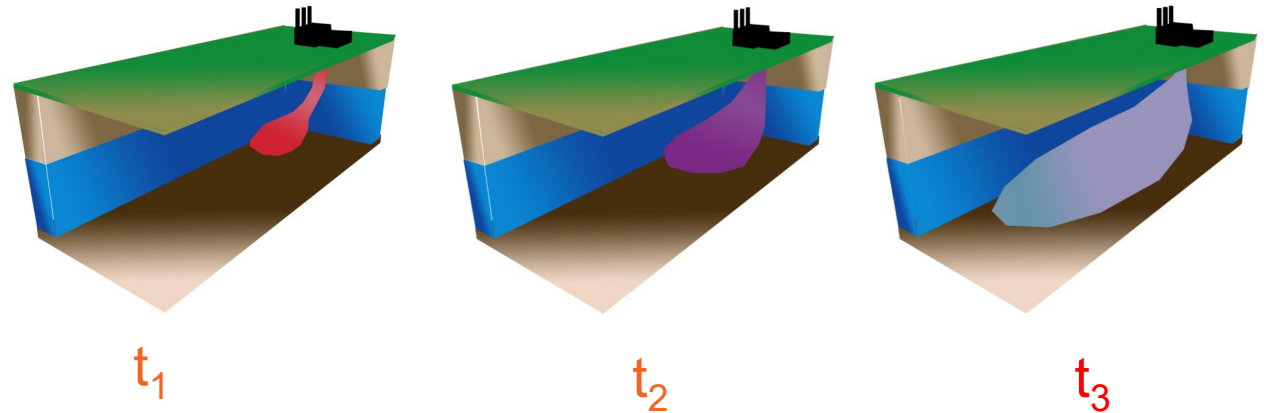


(\*) En caso de que el cálculo de riesgo sea admisible no es obligatorio llevar a cabo una monitorización, pero la administración competente puede solicitarlo

### Alcance de Investigación

- 1) Diagnóstico e Información Previa
- 2) Diseño del plan de muestreo
- 3) Caracterización del suelo y las aguas subterráneas
- 4) Analítica de las muestras en laboratorio acreditado
- 5) Evaluación de la calidad del suelo y las aguas subterráneas

## El factor tiempo: por qué se debe actuar cuanto antes



# Proceso habitual de toma de decisiones

## Alcance de Investigación

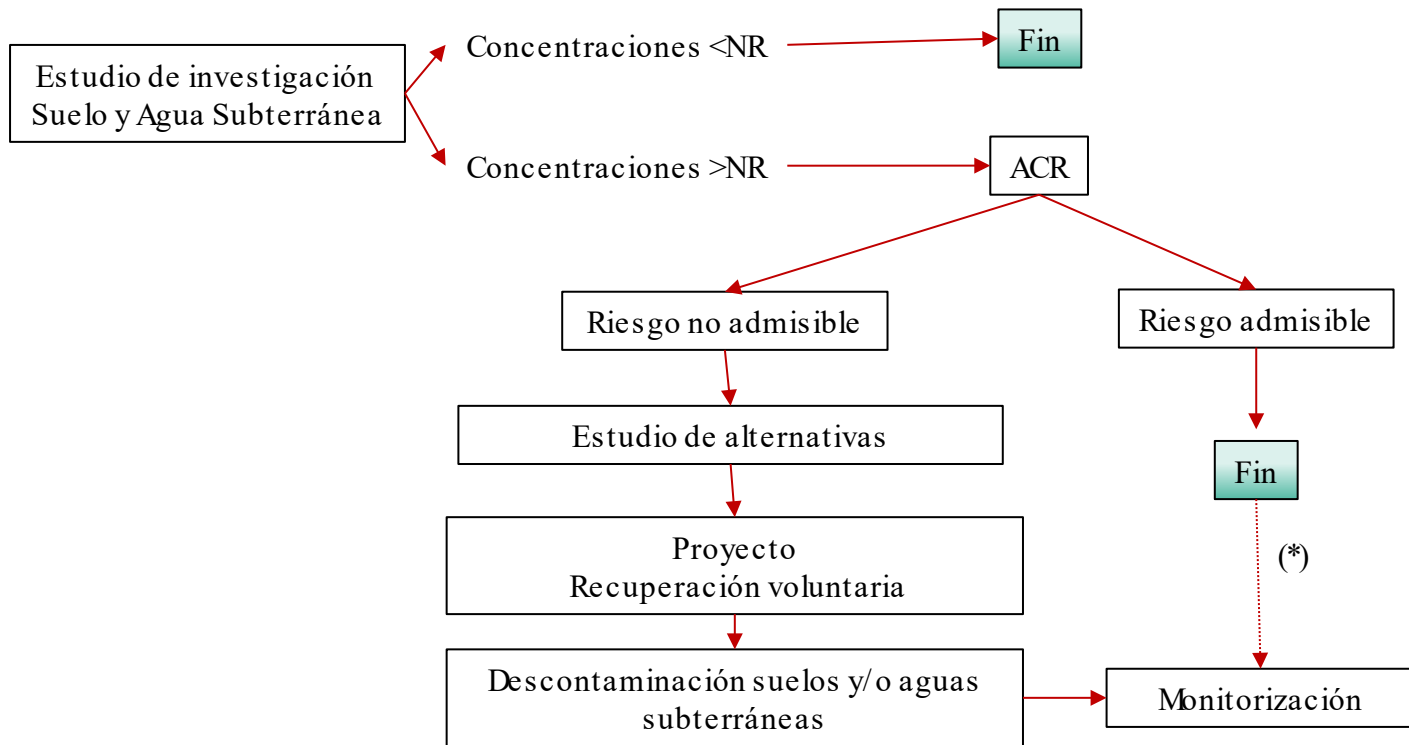
1) Diagnóstico e Información Previa

2) Diseño del plan de muestreo

3) Caracterización del suelo y las aguas subterráneas

4) Analítica de las muestras en laboratorio acreditado

5) Evaluación de la calidad del suelo y las aguas subterráneas



(\*) En caso de que el cálculo de riesgo sea admisible no es obligatorio llevar a cabo una monitorización, pero la administración competente puede solicitarlo



*Normativa aplicable  
en la regulación de  
suelos contaminados  
según contaminantes  
presentes en EESS*

## SUELOS

### 1) Normativa Estatal

**Ley 7/2022, de 8 de abril** de residuos y suelos contaminados para una economía circular: Establece la **obligación de declarar suelos contaminados** y la **responsabilidad de la descontaminación**.

#### Real Decreto 09/2005, de 14 de enero

ANEXO IV: Nivel de referencia para TPH 50mg/Kg

ANEXO V: NGR para diferentes parámetros

Parámetro	NGR(mg/kg)
Benceno	10
Tolueno	100
Etilbenceno	100
Xilenos (suma)	100
Acenafteno	100
Antraceno	100
Benzo(a)antraceno	20
Benzo(a)pireno	2
Benzo(b)Fluoranteno	20
Benzo(k)fluoranteno	100
Criseno	100
Dibenzo(ah)antraceno	3
Fluoranteno	100
Fluoreno	100
Indeno(123cd)pireno	30
Naftaleno	10
Pireno	100

### 2) Normativa Autonómica: Andalucía

**RD 18/2015, de 27 de enero**  
**DRSG02**

Parámetro	VR(mg/kg)
Plomo	2750
ETBE	20
MTBE	100

## AGUAS SUBTÉRRANEAS

### 1) Normativa Estatal → **Real Decreto 665/2023 de 18 de julio** (Anexo X, Parte B)

**VGNR:** Concentración por debajo de la cual no es probable que se genere un riesgo inadmisibles

**VGI:** Concentración por encima de la cual es probable que se genere un riesgo inadmisibles

Contaminante	VGNR µg/l	VGI µg/l
Plomo.	50	500
Benceno.	20	60
Etilbenceno.	70	230
Xileno (suma isómeros).	150	450
Tolueno.	170	600
Rango C 5-6.	40	5.000
Rango C 6-8.	600	
Rango C 8-10.	160	
Rango C 10-12.	160	
Rango C 12-16.	90	
Rango C 16-35.	1.000	
Rango C 5-7.	10	
Rango C 7-8.	320	
Rango C 8-10.	140	
Rango C 10-12.	270	
Rango C 12-16.	280	
Rango C 16-21.	1.000	
Rango C 21-35.	1.000	

Contaminante	VGNR µg/l	VGI µg/l
Naftaleno.	10	500
Acenafteño.	20	1000
Benzo(A)Antraceno.	0,3	1
Benzo(A)Pireno.	0,004	0,01
Benzo(B)Fluoranteno.	0,08	0,2
Benzo(K)Fluoranteno.	1	1
Criseno.	5	12
Fenantreno.	40	150
Fluoranteno.	100	250
Fluoreno.	40	150
Indeno(1,2,3-CD) Pireno.	0,02	0,07
Pireno.	30	120

### 2) Normativa Cuenca Hidrográfica: → En Sevilla: **RD35/2023, de 24 de enero**

Cantábrico Oriental, Cantábrico Occidental, Miño, Duero, Melilla, Tajo, Guadiana, **Guadalquivir**, Ceuta, Segura, Júcar, Ebro

*¿A que organismo competente dirigirse en caso de tener un problema de suelos o aguas subterráneas?*

### SUELOS

Sevilla → La delegación territorial de medioambiente en Sevilla

### AGUAS SUBTERRANEAS

Sevilla → La Confederación Hidrográfica del Guadalquivir



*Principales técnicas  
de descontaminación*

**Información Investigación suelos y aguas subterráneas** → La selección de la **MTD** adecuada es esencial para asegurar la **eficacia, en tiempo y coste**, de un proyecto de recuperación de suelos y aguas. De ahí la importancia de la experiencia en proyectos con las diferentes técnicas para asegurar la eficacia del tratamiento.

### Contaminante

**Propiedades fisicoquímicas:** volatilidad, densidad o biodegradabilidad, entre otras.

**Concentración:** fase libre o disuelta.

**Localización del agua subterránea:** zona saturada o no saturada.

### Emplazamiento

**Climatología.**

**Hidrogeología:** litología del terreno, nivel freático o conductividad hidráulica.

**Seguridad:** riesgo estructural, riesgo de derrumbe o zona natural protegida.

**KEPLER** ha participado como asesor técnico en la redacción de la **Guía de las MTDs** para descontaminación de suelos junto con la **Junta de Andalucía** con la **consejería de sostenibilidad, medioambiente y economía azul**



Consejería de Sostenibilidad,  
Medio Ambiente y Economía Azul

## **GUÍA DE LAS MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS**



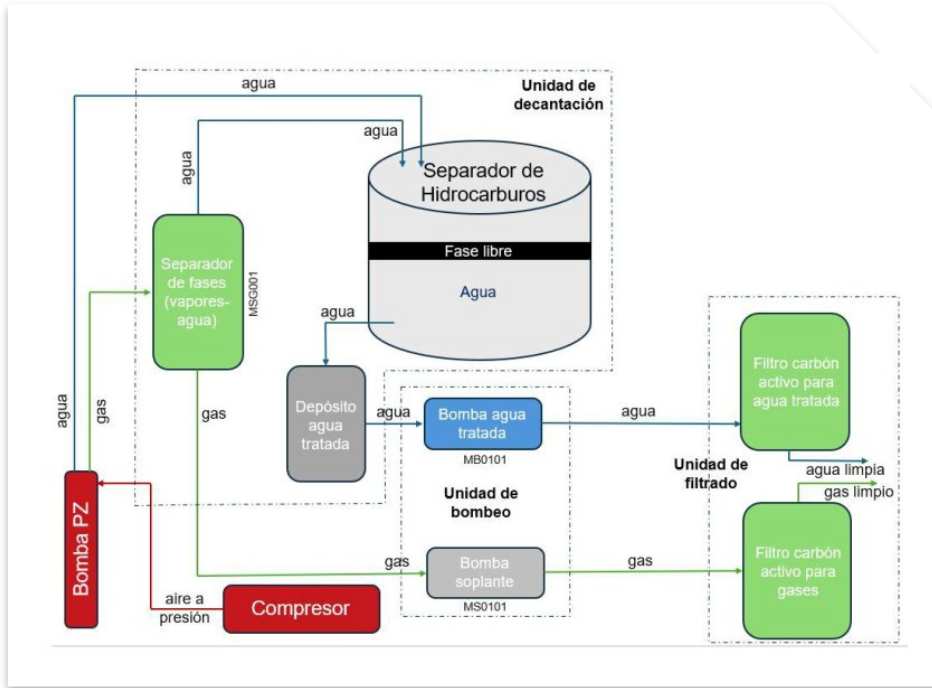
**KEPLER**  
INGENIERIA Y ECOGESTIÓN



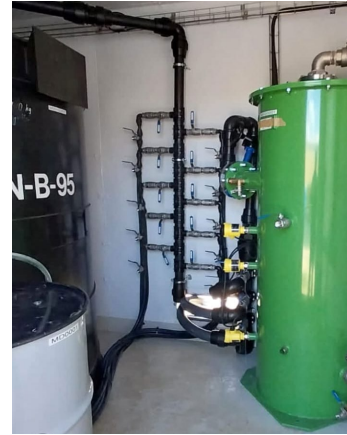
[Guía de las mejores técnicas disponibles para la descontaminación de suelos](#)

- 1) Técnica fisicoquímica: *Extracción multifase Pumpand Treat*
- 2) Técnica Biológica: *Degradación Microbiológica*
- 3) Técnica fisicoquímica: *Oxidación química mediante inyecciones (ISCO)*

Principales técnicas de descontaminación:  
Extracción multifase (Pumpand Treat)

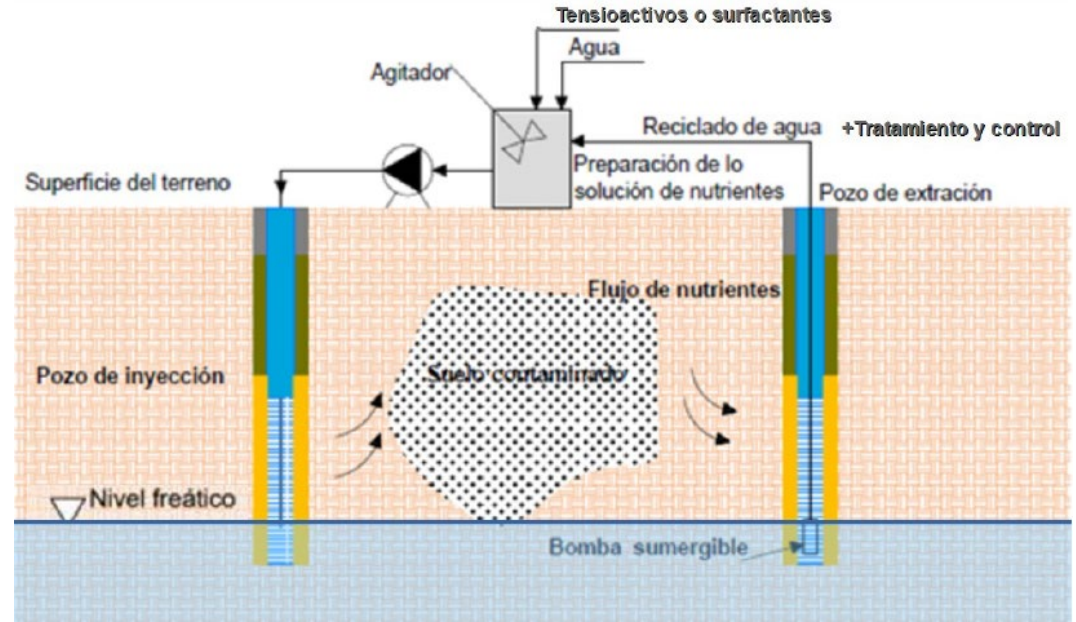


*Principales técnicas de descontaminación:  
Extracción multifase (Pumpand Treat)*





1. Instalación de piezómetros
2. Creación de barrera hidráulica mediante extracción aguas abajo e inyección aguas arriba
3. Inyección de microbiológica en el subsuelo a través de los piezómetros
4. Introducción de oxígeno para favorecer la actividad microbiana (Proceso Aerobio)
5. Monitorización de la evolución del tratamiento mediante muestreo y análisis del agua subterránea



**Gasolina/Gasóleo + Aceptor e<sup>-</sup> + Nutrientes + Microorganismos → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + Nueva biomasa**

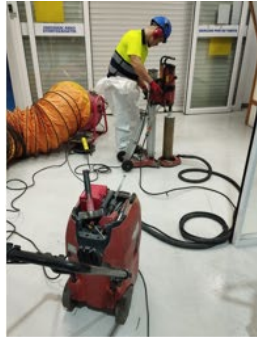
1. Instalación de piezómetros
2. Creación de barrera hidráulica mediante extracción aguas abajo e inyección aguas arriba
3. Inyección de microbiológica en el subsuelo a través de los piezómetros
4. Introducción de oxígeno para favorecer la actividad microbiana (Proceso Aerobio)
5. Monitorización de la evolución del tratamiento mediante muestreo y análisis del agua subterránea





Técnica bioquímica de recuperación que elimina la contaminación mediante la inyección de oxidantes químicos en el subsuelo:

1. Aplicada habitualmente en degradación de COVs y COSVs.
2. Inyección de reactivos (Peróxido de Hidrógeno)
3. La técnica Direct Push permite optimizar costes de perforación y reduce los tiempos de tratamiento.
4. Una vez finalizado el proceso las características del emplazamiento vuelven a su estado original.



a



b



c



d



e



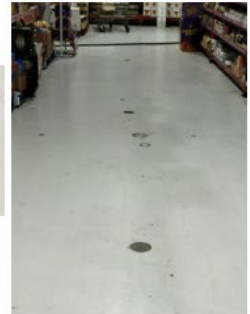
f



g



h



i



*Conclusiones*

### *Conclusiones*

1. Las **APCs(EESS)** tienen la obligación de realizar **informes periódicos de situación del suelo** y el agua subterránea (cada 5/ 10 años) que revisen los focos potencialmente en la EESS.
2. Las **investigaciones de suelos y aguas subterráneas** permiten identificar si existe afección en dichos ámbitos. Detectar el problema a tiempo supondrá un importante ahorro de costes en la descontaminación posterior.
3. Existe **tecnología de descontaminación** de suelos y aguas solvente técnicamente que reduce considerablemente los costes de remediación
4. La **gestión de emplazamientos afectados por contaminación de hidrocarburos** es un proceso largo y complejo que requiere asesoramiento técnico especializado

Rosa María Enrique Márquez

[Emai: rosa.enrique@kepler.es](mailto:rosa.enrique@kepler.es)

Telf.: 618 905 836



Kepler Ingeniería y Ecogestión, S.L.  
[info@kepler.es](mailto:info@kepler.es)  
[www.kepler.es](http://www.kepler.es)

