



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Universidade de Vigo

Máster Universitario en Investigación Química y Química Industrial

Curso 2017–18

Autor: Fiammy Celeste Osoria Villa

**Proyecto de Investigación de Descontaminación de Suelos
por Diesel en el Laboratorio de Construcción Eptisa**

*Research Project of Decontamination of Soils by Diesel in the
Eptisa Construction Laboratory*

**Proxecto de Investigación de Descontaminación de Solos por
Diesel no Laboratorio de Construcción Eptisa**

Tutor: Ricardo Riveiros Santiago

Trabajo de Fin de Máster realizado en la empresa Eptisa Servicios de Ingeniería para la obtención del Máster en Investigación Química y Química Industrial.

Julio 2018

Agradecimientos

En primer lugar, desearía agradecer a Eptisa por su colaboración para realizar mis prácticas profesionales y a mi tutor D. Francisco Lozano Martínez, por su buena disposición y ayuda.

A mi tutor D. Ricardo Riveiros Santiago, por su apoyo y ayuda en la redacción de este informe.

Al coordinador del Máster D. Carlos Jiménez por su disponibilidad total y guía durante este trayecto.

A todos los demás profesores por su dedicación y comprensión.

Al Ministerio de Educación Ciencia y Tecnología (MESCYT) de mi país, República Dominicana, por darme la oportunidad de ampliar mis conocimientos y su ayuda económica.

A mi pareja Miguel Cordero Carrasco por ser tan paciente y comprensivo.

A mi Amado hijo Juan Alexis

A mi Compañero de travesía

Índice

Abreviaturas	5
Resumen	6
Abstract	6
1. Introducción	7
2. Objetivos	10
3. Metodología	11
3.1. Evaluación y gestión de la contaminación de suelo por tanques de almacenamiento subterráneo.....	11
3.1.1. Criterios para la evaluación de la contaminación del suelo y las aguas subterráneas.....	14
3.1.2. Vías de dispersión de contaminantes.....	14
3.1.3. Elementos de la estrategia de muestreo.....	15
3.1.4. Fases de investigación.....	15
3.1.5. Toma de muestras.....	16
3.1.6. Evaluación de Riesgos.....	17
3.1.7. Modelo conceptual para evaluación de riesgos.....	18
3.1.8. Gestión de riesgos.....	18
3.2. Técnicas de tratamiento.....	18
3.2.1. Técnicas de Descontaminación.....	19
3.2.1.1. Descontaminación <i>in situ</i>	19
3.2.1.2. Descontaminación <i>ex situ</i>	21
3.2.2. Técnicas de Contención.....	23
3.2.3. Otras Técnicas.....	24
4. Trabajo realizado	26
4.1. Investigaciones previas.....	26
4.1.1. Inicio de recuperación de suelos.....	26
4.1.2. Valoración de riesgos para la salud humana.....	28
4.1.3. Excavación y retirada del depósito de combustible.....	29
4.1.4. Comprobación de la descontaminación.....	29
4.1.5. Reposición de terrenos.....	31
4.1.6. Últimos piezómetros ejecutados.....	33
4.1.7. Seguimiento posterior.....	34
4.1.8. Seguimiento del tratamiento de aguas subterráneas.....	37
4.2. Trabajo realizado durante mis prácticas profesionales.....	39
4.2.1. Resultados de aguas y suelos.....	41
5. Conclusiones	46
Conclusions.....	48
6. Bibliografía	50

Abreviaturas.

BTEX	Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno.
COV	Compuestos orgánicos volátiles.
DNAPL	sAcumulación en la base de la formación acuífera.
IHOBE	Sociedad pública de gestión ambiental del Gobierno Vasco.
LNAPLs	Progresión en forma de fase libre o sobrenadante en agua subterránea.
MTBE	Metil <i>tert</i> -butil éter.
NGR	Nivel genérico de referencia.
OCE	Otros criterios de evaluación.
PAH	Hidrocarburos aromáticos políciclicos.
R.D.	Real Decreto.
SCOVs	Compuestos orgánicos semivolátiles
TPH	Hidrocarburos totales de petróleo.

Resumen.

La descontaminación de suelo ha avanzado en los últimos años, para llevar a cabo diversas actuaciones remediadoras de los suelos, que se ven afectados por multitud de formas de contaminación imperceptibles a simple vista, y que también afectan de forma directa a otros ámbitos de nuestro entorno y con ello, a nosotros mismos.

El objetivo de este informe es hacer una valoración de la situación actual de la contaminación de suelos por Diesel en la Facultad de Farmacia de la Universidad de Santiago de Compostela y esbozar una propuesta de actuación a la vista de los últimos resultados analíticos y de las pruebas de bombeo realizadas.

En las investigaciones previas se instalaron piezómetros ejecutados mediante sondeos a rotación con recuperación de testigo. En los que se observó valores de TPH por encima de los umbrales tomados como referencia. Por lo que se procedió a realizar análisis del suelo y evaluación de riesgos actuales del suelo contaminado para realizar técnicas apropiadas de descontaminación.

Abstract

The decontamination of soil has advanced in recent years, to carry out various remedial actions of soils, which are affected by a multitude of forms of contamination imperceptible to the naked eye, and which directly affect other areas of our environment and with it, to ourselves.

The objective of this report is to assert of the current situation of soil contamination by Diesel in the Faculty of Pharmacy of the University of Santiago de Compostela and outline a proposal for action in view of the latest analytical results and tests of pumping carried out.

During the previous investigations, several piezometers were installed using rotary drilling with core recovery. The TPH values observed on them were above the thresholds taken as reference. So we proceeded to perform soil analysis and assessment of current risks of contaminated soil in order to perform appropriate decontamination techniques.

1. Introducción.

Antes de la década de los 70 los objetivos de depuración se centran en la contaminación del aire y del agua; y al suelo se le considera con una capacidad de autodepuración casi infinita. La sensibilidad mundial comienza a cambiar a partir de la declaración de la “Carta Europea de Suelos” desarrollada por la Comunidad Europea en 1972. Es por ello, que desde hace relativamente pocos años se están llevando a cabo diversas actuaciones remediadoras de los suelos, ya que éstos vienen sufriendo durante años y de forma continuada, multitud de formas de contaminación imperceptibles a simple vista, y que también afectan de forma directa a otros ámbitos de nuestro entorno y con ello, a nosotros mismos.

Según el R.D. 9/2005, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados, define el suelo como:¹

“La capa superior de la corteza terrestre, situada entre el lecho rocoso y la superficie, compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos y que constituye la interfaz entre la tierra, el aire y el agua, lo que le confiere capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso. No tendrán tan consideración aquellos permanentemente cubiertos por una lámina de agua superficial”.

También el R.D. 9/2005 establece como suelo contaminado: “Aquel cuyas características han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes químicos de carácter peligroso de origen humano, en concentración tal que comporte un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente, y así se haya declarado mediante resolución expresa”. Así mismo define como actividades potencialmente contaminantes del suelo: “Aquellas actividades de tipo industrial o comercial en las que, ya sea por el manejo de sustancias peligrosas o por la generación de residuos, pueden contaminar el suelo”.

El suelo se ha formado lentamente como consecuencia de la acción combinada del clima, materia originaria, paisaje, factores bióticos (vegetación, fauna y acciones antrópicas) y el tiempo.

En un corte vertical del terreno, se puede distinguir diversas capas que se llaman horizontes (Figura 1). Cada uno de ellos tiene características y propiedades diferentes en cuanto a color, estructura, textura, composición química, biológica o mineralógica.

A nivel hidrológico, el suelo queda definido de manera descendente por las siguientes partes: Zona edáfica, zona vadosa o saturada, nivel freático, zona saturada, acuífero.



Figura 1. Horizontes del suelo.

En cuanto a sus fases, en el suelo se distinguen tres fases; la fase vapor o gaseosa que ocupa los poros del suelo, la fase sólida formada principalmente por los granos y partículas del suelo y la fase líquida generalmente agua que, o bien ocupa parte de los poros, o bien se encuentra adherida a las partículas sólidas.

Del mismo modo, los contaminantes se encuentran distribuidos en estas tres fases en los suelos en función de sus propiedades de hidrofobicidad y adsorción.

Dentro de las actividades potencialmente contaminantes del suelo, la agencia de residuos de Cataluña establece algunas de las causas principales de la contaminación del suelo:²

1. Almacenamiento incorrecto de productos y/o residuos en actividades industriales: es una de las fuentes de contaminación del suelo más usual. Por ejemplo, las fugas en tanques de almacenamiento o los vertidos accidentales en superficies sin impermeabilizar.
2. Vertidos de residuos incontrolados: a parte del impacto visual que generan, pueden provocar, a partir de la lixiviación de determinados residuos, la contaminación del suelo, aguas subterráneas y aguas superficiales.

3. Escombros industriales: surgen como consecuencia de los anteriores procesos industriales y pueden provocar la aportación adicional de contaminación al entorno.
4. Bidones enterrados: el entierro ilegal de bidones con residuos y su deterioro a lo largo del tiempo.
5. Almacenamiento incorrecto de productos o residuos: con relación al abandono de antiguas actividades.
6. Fugas en tanques u operaciones deficientes: las pequeñas fugas en tanques enterrados.
7. Vertidos incontrolados de agua residuales: debido al vertido de aguas no tratadas procedentes de industrias, municipios o instalaciones ganaderas, que pueden contener sustancias químicas contaminantes.
8. Uso incorrecto de pesticidas y/o abonos: el uso continuado y abusivo de pesticidas y abonos, a causa de la migración de los mismos a través de la zona no saturada.
9. Alcantarillado antiguo en mal estado: pueden producirse fugas y escapes que pueden provocar la contaminación del subsuelo y de las aguas subterráneas.

2. Objetivos.

En la facultad de Farmacia de la USC se acometieron diversas actuaciones de descontaminación de suelos afectados por un vertido de gasóleo, consistiendo la última de ellas en la retirada del antiguo depósito y tierras circundantes. La presente investigación se enmarca dentro del seguimiento de la evolución de la contaminación remanente, y aprovechando las obras que se están realizando en el sótano del edificio principal se procedió a caracterizar las aguas del subsuelo del edificio.

Los objetivos de este informe son:

- 1- Hacer una valoración de la situación actual de la contaminación de suelos en la facultad de farmacia de la Universidad de Santiago de Compostela.
- 2- Esbozar una propuesta de actuación a la vista de los últimos resultados analíticos y de las pruebas de bombeo realizadas.

3. Metodología.

Para la realización de este estudio se empleará la metodología establecida en el R.D. 9/2005, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.¹ La guía técnica de aplicación del R.D. 9/2005, establece las actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados,³ pero no las acciones para llevar a cabo estas actividades.

Para ampliar más las actuaciones de recuperación de suelos y análisis de riesgo para la salud humana y el medio ambiente, se tomarán otras fuentes de información, la “*Guía Técnica para la evaluación y gestión de la contaminación del suelo por tanques de almacenamiento subterráneo*”,⁴ publicado por el IHOBE.

3.1. Evaluación y gestión de la contaminación de suelo por tanques de almacenamiento subterráneo.

La ley 1/2005 para la prevención y contaminación del suelo de la comunidad autónoma del País Vasco⁵ ya incorpora la filosofía de aproximación progresiva a la evaluación de la problemática de los suelos contaminados y la consecuente toma de decisiones acerca de las medidas correctoras necesarias.

La figura 2 muestra las etapas que, en general marcan la actuación sobre un suelo potencialmente contaminado, desde su identificación como tal hasta la intervención en el mismo a través de la implantación de las medidas oportunas, pasando por su investigación. El esquema adoptado refleja un enfoque progresivo articulado en dos fases:

- Investigación exploratoria.
- Investigación detallada.

Dentro de la **investigación exploratoria** cabe distinguir dos subfases:

En primer lugar, se encuentran los trabajos dirigidos a confirmar o desechar los indicios de una posible contaminación del suelo. Dichos trabajos comprenden la obtención de datos históricos sobre las actividades desarrolladas, así como de datos sobre las características relevantes del medio físico en que se ubica. Se requiere además una visita. Como resultado de estas tareas se debe elaborar un modelo conceptual inicial.

En la Segunda fase, es necesario recurrir a la toma y análisis de muestras para poder obtener resultados concluyentes acerca de la calidad del suelo. Los resultados de los análisis efectuados en las muestras de suelo son determinantes para la evaluación en esta fase.

El objetivo de la **investigación detallada** es recabar información suficiente para realizar la evaluación de los riesgos actuales y futuros derivados de la contaminación detectada en el emplazamiento. La evaluación de riesgos se configura como la herramienta clave dentro de esta fase de cara a tomar decisiones sobre las actuaciones que es preciso acometer en el emplazamiento.

Si las conclusiones de dicha evaluación determinan la existencia de riesgos inaceptables, es necesario implantar medidas de recuperación, para reducir los riesgos hasta niveles aceptables.

Si los riesgos se consideran aceptables, es necesario implantar, en todo caso, medidas de defensa y (cuando se estime preciso) medidas de control y seguimiento de los niveles de contaminación.

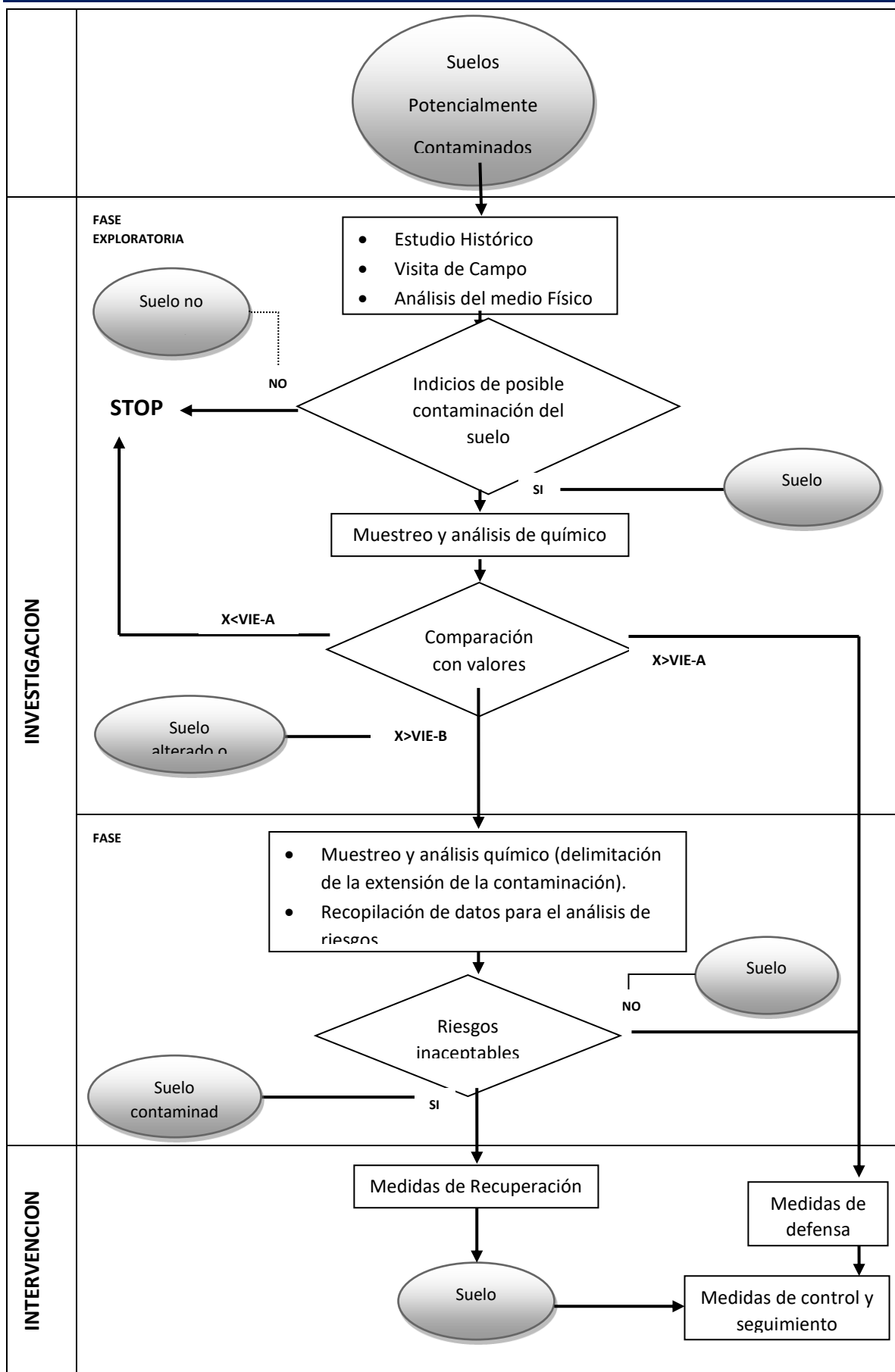


Figura 2. Esquema general de actuación en un suelo contaminado.

3.1.1. Criterios para la evaluación de la contaminación del suelo y las aguas subterráneas.

Estos criterios son complementarios a los expuestos en las distintas guías metodológicas y técnicas publicadas por IHOBE a partir de 1998. Los aspectos aquí tratados son los siguientes:

- Elaboración del estudio histórico y del análisis del medio físico.
- Definición del modelo conceptual inicial.
- Diseño de la estrategia de muestreo.
- Toma de muestras.
- Realización de mediciones *in situ*.
- Análisis de laboratorio.
- Evaluación de los resultados de investigación.
- Establecimientos de otros criterios de evaluación (OCE).

3.1.2. Vías de dispersión de contaminantes.

Los principales mecanismos que rigen la distribución de los contaminantes en las tres fases del suelo (sólida, acuosa y gaseosa) y su evolución en el espacio y el tiempo son los siguientes:

- Puesta en suspensiones de partículas de suelo contaminado y dispersión atmosférica.
- Adsorción/ Desorción en partículas del suelo.
- Volatilización y posterior migración a través de la zona no saturada hacia espacios interiores y/o dispersión atmosférica.
- Lixiviación del suelo contaminado e incorporación a agua subterránea.
- Disolución y migración en agua subterránea.
- Progresión en forma de fase libre o sobrenadante en agua subterránea (LNAPLs).
- Acumulación en la base de la formación acuífera (DNAPLs).

3.1.3. Elementos de la estrategia de muestreo.

En este apartado se presentan algunas estrategias de muestreo específicas para suelos contaminados por tanques subterráneos. En todo caso, el diseño de la estrategia de muestreo debe estar enfocado a obtener los datos necesarios para efectuar la evaluación en cada fase de investigación. Los elementos que componen la estrategia de muestreo son:

- Medios a muestrear.
- Localización de los puntos de muestreo.
- Número de los puntos de muestreo.
- Número de muestras por punto de muestreo.

3.1.4. Fase de investigación.

En cuanto a la previsible distribución espacial de la contaminación, aunque difiere de unos medios a otros, es habitual que sea heterogénea y proceda de una fuente conocida.

- En la investigación exploratoria, el diseño del muestreo se orientará hacia dos objetivos básicos:
 - Detectar zonas de máxima probabilidad de contaminación existentes dentro del emplazamiento.
 - Identificar situaciones de riesgo inminente que requieran acciones de emergencia: Análisis de agua intersticial, suelos y aguas subterráneas.
- La investigación detallada viene condicionada por los objetivos genéricos y específicos:
 - Cuantificación y evaluación de riesgos.
 - Valores específicos del emplazamiento: características físico-químicas (densidad, porosidad, fracción de carbono orgánico), parámetros hidrodinámicos (permeabilidad, gradiente hidráulico, etc.).
- Diseño del programa de análisis químico: además de las mediciones *in situ* de determinados parámetros, la investigación exploratoria y la investigación detallada, incluyen la toma de muestras de diferentes medios para su posterior análisis en laboratorio.
 - Se analizaron normalmente cadena del rango C₁₀-C₄₀ en TPH (hidrocarburos totales del petróleo), BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno), hidrocarburos alifáticos de cadenas cortas C₆-C₁₂. Cuando se trata del gasóleo es importante la determinación de los PAH (hidrocarburos policíclicos aromáticos), en especial, el naftaleno. Por su importancia ambiental se analizan además otros compuestos oxigenados como MTBE (metil *terc*-butiléter) para saber si el combustible es sin plomo y ETBE (etil *terc*-butiléter).

3.1.5. Toma de muestras.

La toma de muestras en la investigación debe seguir las pautas establecidas en la *Guía de toma de muestras* (IHOBE, 1998).⁶ En función del medio a muestrear y los contaminantes implicados, se escogerán los equipos, técnicas y procedimientos más adecuados. Los medios que con mayor frecuencia son objetos de muestreo son:

- El aire intersticial del suelo debe respetar algunas precauciones generales en los equipos implicados, pueden realizarse mediante:
 - Medidores de explosividad, en arquetas, sótanos, etc.
 - Medidores de lectura directa del compuesto a investigar.
 - Bombas de muestreo personal con tubos de carbón activo u otros, según el método específico de muestreo.
 - Medidores pasivos, útiles para el muestreo personal o de ambiente.
- En los suelos, se ha de prestar particular atención en los aspectos siguientes:
 - Selección de los equipos de muestreo en función de la dureza del terreno, la profundidad de muestreo, los horizontes a muestrear, la volatilidad de los contaminantes y las posibles interacciones entre estos y los materiales constitutivos de los equipos de muestreo.
 - Manipulación de muestras que debe garantizar la menor alteración posible de las mismas, en especial si se ven implicados los compuestos volátiles.
 - Procedimiento del muestreo, que debe evitar el arrastre de contaminación de unas muestras a otras (contaminación cruzada), para lo cual se han de aplicar prácticas seguras en cuanto a los materiales de muestreo y su limpieza sistemática.
 - No sobrepasar el tiempo máximo de conservación (*holding time*) de la muestra para los distintos tipos de contaminantes.
- En las aguas subterráneas se debe prestar atención a los siguientes aspectos:
 - Procedimiento del muestreo, que debe evitar el arrastre de contaminación de unas muestras a otras (contaminación cruzada). Para ello se han de aplicar prácticas seguras en cuanto a los materiales de muestreo y su limpieza sistemática.
 - Realización de las operaciones previas al muestreo propiamente dicho en pozos de control (medida del nivel estático y purgado mediante procedimientos adecuados).
 - Selección de los equipos muestreo en función de las características del pozo (diámetro y posición del filtro), profundidad de muestreo, densidad y volatilidad

de los contaminantes y las posibles interacciones entre estos y los materiales constitutivos de los equipos de muestreo.

- La manipulación de muestras debe garantizar la menor alteración posible de las mismas, en especial si se ven implicados compuestos volátiles.
- En las muestras de agua que deban ser analizadas para la cuantificación de compuestos volátiles, tal como el típico análisis BTEX, deberá evitarse en lo posible la generación de una burbuja de aire en el vial o la botella de muestreo, ya que en esta burbuja se acumulará este compuesto y el análisis posterior de la muestra no será representativo.
- No sobrepasar el tiempo máximo de conservación de la muestra.

3.1.6. Evaluación de Riesgos.

Para estructurar el análisis de riesgos resulta aconsejable identificar los elementos de la cadena de riesgos que son relevantes. Dichos elementos se agrupan en los siguientes:

- Fuentes de contaminación
 - Suelos superficiales (orientativamente, los situados a menos de 1 m de profundidad).
 - Suelos profundos (orientativamente, los situados a más de 1 m de profundidad).
 - Producto presente en la fase no disueltas (sobrenadante o acumulado en la base del acuífero).
 - Contaminantes disueltos en aguas subterráneas.
- Mecanismos de transporte.
 - Volatilización y dispersión atmosférica.
 - Volatilización y acumulación en espacios confinados.
 - Migración de contaminantes en fase libre.
 - Lixiviación y migración a través de las aguas subterráneas.
- Vías de exposición.
 - Ingestión (de partículas de suelo, de aguas contaminadas o alimentos afectados por la contaminación).
 - Contacto dérmico con partículas de suelo y agua contaminada.
 - Inhalación (de partículas de suelo en ambiente exterior o interior, de volátiles procedentes del suelo en ambiente exterior o interior de volátiles procedentes de aguas contaminadas).

- Receptores potenciales.
 - Población humana del emplazamiento y su entorno, en la que se distinguirá sistemáticamente población infantil y adulta.
 - Poblaciones de los ecosistemas.

3.1.7. Modelo conceptual para evaluación de riesgos.

El desarrollo del modelo conceptual del emplazamiento constituye una de las etapas clave en la ejecución de un análisis cualitativo o cuantitativo de riesgos. Constituye una definición del problema objeto de estudio por lo que debe incluir:

- Caracterización detallada del medio.
- Evaluación de los receptores sensibles.
- Valoración de las rutas de exposición.

Una herramienta visual muy útil consiste en elaborar un diagrama de flujo.

3.1.8. Gestión de riesgos.

Una vez elaborado un análisis en el que se han identificado situaciones con niveles de riesgo inaceptables, se procede a definir las posibles líneas de actuación tendentes a reducir tales riesgos hasta valores aceptables.

- Actuar sobre las causas de riesgo para impedirlo, es decir, emprender actuaciones de recuperación y saneamiento de los medios afectados que suponga fuentes de riesgo.
- Actuar sobre los mecanismos de transporte contaminantes, adoptando soluciones de ingeniería (contención, confinamiento) que intercepten las rutas de migración de los contaminantes desde los focos hasta los receptores identificados como críticos.
- Reducir la exposición objetiva de los receptores, bien rebajando el tiempo de exposición, o limitando el uso de los recursos afectados que actúan como medios de contacto críticos (suelo y/o aguas).

3.2. Técnicas de tratamiento.

Para seleccionar las técnicas de recuperación de suelos y aguas subterráneas contaminadas por sustancias almacenadas en tanques subterráneos se deben tener en cuenta diferentes criterios. En los últimos años se han venido desarrollando estrategias, conocidas como, remediación mediante técnicas activas o la actuación de una forma pasiva en el sentido de

dejar, bajo control, que la propia contaminación se vaya reduciendo, mediante los procesos naturales que se producen en el subsuelo.

Desde el punto de vista de la forma en que pueden aplicarse, pueden ser *in situ* y *ex situ*:

- Las tecnologías *in situ*, se caracterizan por actuar sobre el suelo contaminado en su localización, es decir, por no requerir la excavación del mismo para acometer su tratamiento.
- Las tecnologías aplicadas *ex situ*, se caracteriza por requerir la excavación previa del suelo contaminado antes de proceder al tratamiento propiamente dicho del mismo.

Tipo de tecnología	Forma y medio de aplicación		Denominación	
		Suelos		Aguas
Descontaminación	<i>In situ</i>	X		Extracción de aire / Bio - ventilación
		X	X	Sparging
			X	Bombeo y tratamiento de aguas subterráneas
		X	X	Extracción multifase (Bioslurping)
	<i>Ex situ</i>	X		Landfarming
		X		Biopilas
		X		Compostaje
		X		Desorción térmica
Contención	<i>In situ</i>		X	Pantallas hidráulicas
			X	Pantallas de contención
Otras	<i>In situ</i>	X	X	Atenuación natural
		X	X	Biorremediación estimulada

Tabla 1. Tecnologías de recuperación de suelos y aguas subterráneas para contaminaciones originadas desde tanques subterráneos.

En la tabla 1 se puede observar la clasificación de las tecnologías según se trate de soluciones de descontaminación *in situ* y *ex situ*, de contención o de gestión y especificando la forma en que se aplican.

3.2.1. Técnicas de descontaminación

Los siguientes tratamientos describen distintas técnicas de descontaminación de suelos que combinan asimismo en algunos casos la descontaminación del agua subterránea.

3.2.1.1. Descontaminación *in situ*

Entre las técnicas de **descontaminación *in situ***, actuación sobre el suelo contaminado en su localización, las más utilizadas son las siguientes:

- **Técnicas de extracción de aire/bioventilación:** su principio de acción es la extracción de vapores mediante vacío en zona de suelos no saturado. Existe un incremento de la actividad biológica debido al flujo de aire. Según el elemento en que se realice la extracción hablamos de extracción de aire, de agua, de fase libre y de fase densa. Su principal aplicación es en compuestos orgánicos biodegradables, COVs, SCOVs. Con una efectividad de un 95% en condiciones óptimas

Limitaciones	Particularidades
En compuestos de baja volatilidad el resultado es menos efectivo.	Se extraen gases que en determinadas concentraciones son explosivos.
En suelos pocos permeables con una conductividad hidráulica mínima de 0,1 mL/día presentan menos efectividad.	Poco mantenimiento.
Suelos muy estratificados se requiere mayor complejidad	Alto consumo eléctrico.
No se recomienda en emplazamiento donde el nivel freático sea inferior a 1 m de profundidad.	Un elevado nivel sonoro.

- **El sparging** consiste en la inyección de corriente de aire en zona saturada (desorción + volatilización) de los contaminantes y su paso a fase gaseosa. Su principal aplicación en COVs, tanto absorbidos al suelo como disueltos en el agua, incluyendo compuestos clorados. Con una efectividad >85% de reducción.

Limitaciones	Particularidades
En compuestos de baja volatilidad el resultado es menos efectivo.	No aplicar cerca del límite de la instalación.
En suelos pocos permeables con una conductividad hidráulica mínima de 0,1 mL/día.	Poco mantenimiento.
Suelos muy estratificados se requiere mayor complejidad	Alto consumo eléctrico.
Nivel freático inferior a 1 m de profundidad.	Elevado nivel sonoro.
En presencia de fase libre debe eliminarse antes.	Combinar con barrera hidráulica.
Altas concentraciones de Fe ²⁺	Evitar acumulación de vapores extraídos.

- **Bombeo y tratamiento de aguas subterráneas:** se basa en la extracción del agua subterránea y/o producto libre y su tratamiento posterior. En principio no está

limitada por la tipología de la contaminación. Su efectividad depende de la tecnología aplicada para la depuración de las aguas subterráneas.

Limitaciones	Particularidades
Se suele utilizar en emplazamientos con suelos de Baja permeabilidad.	Evitar la aplicación en zonas próximas al límite de la instalación.
Imposibilidad de eliminar el producto libre sobrenadante.	Elevado nivel de control y mantenimiento.
Adsorción de los contaminantes al suelo.	Adecuada construcción de pozos de extracción.
Nivel freático inferior a 1 m de profundidad.	Elevado nivel sonoro.
En el caso de producto libre será imposible extraer al 100%.	

- **La extracción multifase (Bioslurping)** se emplea para la extracción de la contaminación mediante vacío, generando un incremento de la actividad biológica debido al flujo de aire. Actuando en suelo, agua subterránea y producto libre. Su aplicación principal es en hidrocarburos, no hay datos de su efectividad.

Limitaciones	Particularidades
Compuestos de baja volatilidad resultado menos efectivo.	Elevado nivel de control y mantenimiento.
Nivel freático inferior a 9 m.	Complejidad de máquinas.
Los suelos muy estratificados requieren mayor complejidad.	Alto consumo eléctrico.
Difícil extracción de disolventes clorados.	Control de explosividad.

3.2.1.2. Descontaminación *ex situ*

Entre las técnicas de **descontaminación *ex situ***, actuación fuera de la localización contaminada, se pueden destacar como las más empleadas:

- **El landfarming:** Su principio de acción se basa en el incremento de la actividad biológica mediante excavación y adición de O₂ con nutrientes, en el suelo. La principal aplicación es en compuestos orgánicos biodegradables, con una efectividad entre un 80% para hidrocarburos y 99% para hidrocarburos ligeros.

Limitaciones	Particularidades
Concentración de hidrocarburos > 50000 ppm.	Valorar la climatología local (humedad y temperatura).
Concentración de metales >2500 ppm	Control periódico de condiciones físicas del suelo.
Suelos pocos permeables.	Control de olores.
Contenido de humedad <40% ó >85%	Potencial tratamiento de lixiviados
pH fuera del rango (6-8).	
Temperatura <10 °C ó >45 °C.	

- **Las biopilas:** están basadas en el incremento de la actividad biológica mediante excavación y adición de O₂ con nutrientes más extracción de compuestos volátiles, en el suelo. Su principal aplicación es en compuestos orgánicos biodegradables, teniendo una efectividad entre 80% para hidrocarburos y 97% para hidrocarburos ligeros.

Limitaciones	Particularidades
Concentración de Hidrocarburos > 50000 ppm.	Construcción de biopilas y control de los suelos más complicados que en el landfarming.
Concentración de metales >2500 ppm.	Mayor riesgo de dejar zonas de las biopilas sin tratamiento eficaz.
Suelos pocos permeables.	Control de olores.
Contenido de humedad <40% ó >85%.	Necesario instalar un sistema de adición de nutrientes y aguas
pH fuera del rango (6-8).	

- **El compostaje** es útil en la degradación de compuestos orgánicos mediante microorganismos, en el suelo. Su aplicación principal es en hidrocarburos pesados, con una efectividad aceptable para fracción pesada.

Sus principales limitaciones coinciden con las mismas de las técnicas landfarming y la de las biopilas.

Sus particularidades más destacables son:

- Requiere remover el suelo periódicamente.
- Potencial generación de olores.

- **La desorción térmica:** es una técnica *ex situ* basada en la excavación y aplicación de calor (volatilización y desorción), en suelo contaminado. Su principal aplicación es en compuestos orgánicos. Con una efectividad habitualmente de un 95%.

Sus principales limitaciones son:

- Suelos con alto contenido húmico y/o arcilloso.

Sus Particularidades más importantes son:

- Rentable a partir de un volumen de suelo considerable.

3.2.2. Técnicas de contención

Las técnicas de contención se emplean para prevenir o reducir significativamente la migración de los contaminantes orgánicos e inorgánicos en suelos y aguas subterráneas. Son por tanto técnicas *in situ* y no requieren la excavación del suelo. Podemos destacar las siguientes:

- **Las pantallas hidráulicas** son empleadas para la extracción del agua subterránea como medida de contención para evitar la migración de los contaminantes. Su principal aplicación en principio no está limitada por la tipología de la contaminación. Son efectivas para el control de la contaminación, aunque esta no se reduce sino se combina con un tratamiento en superficie.

Limitaciones	Particularidades
La baja permeabilidad del terreno puede implicar la necesidad de un gran número de pozos de extracción.	Conocimiento hidrodinámico minucioso del medio.
Genera un volumen de vertido de agua importante y continuo que será necesario tratar.	Esfuerzo de mantenimiento y vigilancia, funcionamiento continuo.
	Conviene reinyectar el agua.

- **Las pantallas de contención:** su principio de acción es un confinamiento vertical de las aguas subterráneas contaminadas. En principio su aplicación no está limitada por la tipología de la contaminación. No hay reducción de la contaminación, es difícil de garantizar la estanqueidad completa de la barrera, sobre todo a largo plazo.

Limitaciones	Particularidades
Contaminantes que afecten negativamente a la pantalla.	Evaluar si el agua subterránea puede sobrepasar la barrera, por lo que requieren combinación con bombeo.
En suelos no granulares.	Limitaciones de espacios para maniobrar infraestructuras subterráneas.
Grandes profundidades.	Requiere control por monitorización.

3.2.3. Otras técnicas.

Además de las técnicas de descontaminación y contención existen otras tecnologías que pueden emplearse para el tratamiento y recuperación de suelos y aguas subterráneas contaminadas, las más destacables son las siguientes:

- **La atenuación natural:** Consiste en aprovechar procesos naturales de dilución, volatilización, biodegradación, absorción y reacciones químicas en el suelo. Puede aplicarse en el suelo y agua subterránea, su aplicación principal es en hidrocarburos derivados del petróleo, compuestos volátiles y semivolátiles no halogenados. Su efectividad es variable y a largo plazo.

Limitaciones	Particularidades
Menos eficaz con compuestos halogenados.	Se requiere un estudio previo pormenorizado de la viabilidad del sistema y un control periódico posterior sobre la evolución de la contaminación.
Presencia de producto en fase libre.	Puede ser utilizada junta a otras medidas.
Potenciales receptores en el entorno.	Escasa generación de residuos.
Posibilidad de migración de la contaminación.	

- **La Biorremediación estimulada** está basada en el fomento de los procesos naturales de degradación mediante aditivos, en suelo y aguas subterráneas. Su principal aplicación es en TPH, compuestos volátiles y semivolátiles no halogenados. Su

efectividad es variable y a largo plazo. Las principales limitaciones y particularidades del método son similares a las empleadas en la técnica atenuación natural.

Esta metodología es muy similar a la atenuación natural monitorizada. La diferencia consiste en que en este caso se añaden aditivos al subsuelo que favorecen y aceleran los procesos naturales que provocan una reducción del nivel de los contaminantes. Los aditivos pueden ser agentes oxidantes que crean condiciones aerobias en el subsuelo, enzimas, poblaciones bacterianas o nutrientes, que suplan las carencias detectadas en la etapa de evaluación de la técnica, o se aceleran los procesos naturales.

4. Trabajo realizado.

4.1. Investigaciones previas.

El 12 de marzo del 2010 Applus Norcontrol, S.L.U. emitió el informe “Estudio de la Calidad del Suelo en la Facultad de Farmacia de la USC” que tenía por objeto verificar la calidad de los suelos y de las aguas subterráneas que podrían estar afectados por las posibles pérdidas de un depósito de gasoil. Este informe concluye que en el entorno de un antiguo tanque de gasoil ubicado en uno de los patios interiores de la Facultad de Farmacia está contaminado. Así, tras la instalación de 5 piezómetros ejecutados mediante sondeos a rotación con recuperación de testigo, se determina que:

- En la muestra de suelo tomada en el punto P3 se han detectado TPH, cuyos valores superan en la muestra S3B (9.500 mg/kg) más de 100 veces el nivel de referencia de 50 mg/kg recogido en el Anexo IV del R.D. 9/2005, por encima del cual se considera contaminado. La distribución detectada de la concentración de hidrocarburos totales del petróleo en el punto P3 indica que se encuentran en la cota más profunda no detectándose a nivel superficial.
- La concentración de TPH de la muestra P3 (depósito subterráneo), supera el nivel de intervención que se asimila al aceite mineral establecido en la normativa holandesa para aguas subterráneas.⁷
- En cuanto a los PAH, solo las concentraciones de benzo[*a*]pireno e indeno[123-*cd*]pireno en el punto P3 superan el nivel de intervención de la normativa holandesa para aguas subterráneas.

4.1.1. Inicio de recuperación de suelos.

En septiembre de 2010 Novotec S.A. redactó, a petición de la USC, el “Proyecto de recuperación del suelo contaminado en la Facultad de Farmacia”. En este proyecto se definieron los trabajos necesarios para la ejecución de la descontaminación de los suelos y aguas subterráneas, y se establecieron las concentraciones máximas admisibles como objetivo de los trabajos de descontaminación, y el plan de seguimiento para controlar los trabajos y concentraciones finales remanentes.

Inicialmente se descartó la excavación y retirada del suelo contaminado debido a que afectaría a las acometidas de gas y de la red de voz y datos al edificio, habiendo además

peligro de descalzar el cuerpo de la escalera existente, optándose por una segunda alternativa basada en la extracción mediante bombeo de 12 tubos piezométricos y lavado químico.

El piezómetro se utiliza para medir la presión de poros o nivel del agua en perforaciones, terraplenes, cañerías y estanques a presión. La aplicación geotécnica más común es para determinar la presión de agua en el terreno o el nivel de agua en perforaciones.

Se propone la perforación de los sondeos hasta 10 m de profundidad y la instalación de la correspondiente instrumentación piezométrica, colocando una tubería ciega en el metro inferior y superior del sondeo, mientras que en el resto se dispondrá con tubería ranurada. El espacio entre la perforación y la tubería se rellenará con grava silícea hasta 0,50 m del borde superior de la tubería ranurada.

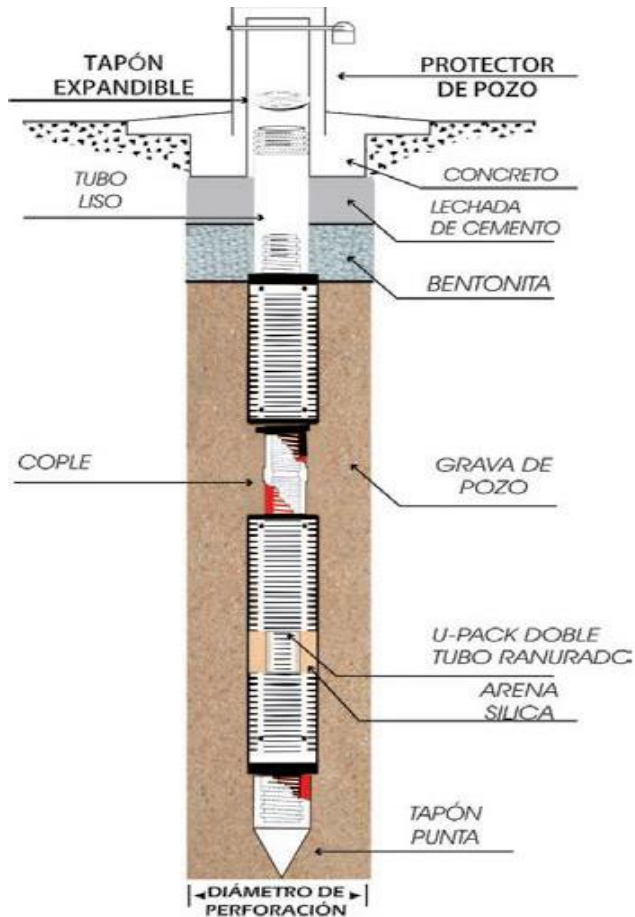


Figura 3. Esquema de un tubo piezométrico

Los trabajos comenzaron en abril 2011, dado que la ejecución de los trabajos coincidió con las estaciones de primavera-verano, con menor régimen de lluvias, se solicitó una ampliación de tres meses ya que debido a esto el ritmo de descontaminación se ralentizó hasta tal punto que es a finales de octubre de este año cuando se recoge hidrocarburo en el tubo más cercano al antiguo depósito, alcanzando una altura de 22 cm.

Durante el primer trimestre del año, debido al bajo régimen de lluvias, obligó a solicitar una segunda ampliación del plazo hasta agosto del 2012.

En octubre de 2012 el director de la obra emite un informe de situación cuyo resumen es el siguiente:

- El volumen de hidrocarburos extraído fue de 90 L.
- De los doce piezómetros empleados en la descontaminación, 9 no detectaban contaminación, 1 tenía una contaminación baja, inferior a los 600 µg/L que es el valor de intervención de la norma holandesa⁷ (tomada como referencia) y dos (sondeos P1 y P2) tenían una concentración por encima de este valor.

Ante esta situación y dado el elevado coste que hasta a la fecha han tenido los trabajos, la dirección de obra realiza la siguiente propuesta:

- Realizar durante un periodo de 3 años un control sobre los piezómetros P1, P2, P3, P4, P5, P7, P9 y P11. Dicho control se realizaría mediante toma de muestras cuatrimestralmente durante el primer año, y semestral los dos siguientes.

Una vez se acaba este periodo de control se realizará un informe final que valore resultados, aporte conclusiones y nuevas propuestas de actuación.

4.1.2. Valoración de riesgos para la salud humana.

El 7 de agosto de 2013, la USC solicita a Eptisa Servicios de Ingeniería S.L. la realización de un análisis de riesgos para la salud humana y la ejecución del plan de seguimiento de la calidad de las aguas subterráneas en los piezómetros instalados.

En el “Informe de Seguimiento de Aguas Subterráneas y Valoración de Riesgos para la Salud Humana Asociados a la Contaminación Remanente en la Facultad de Farmacia en Santiago de Compostela”, de referencia EMA-3029 R.01 y elaborado por Eptisa en octubre de 2013, se estimaron como inaceptables riesgos asociados a los niveles de contaminación residual detectados en las aguas subterráneas y se propusieron unos objetivos de limpieza a alcanzar que se resumen en la tabla 2.

Compuesto	Objetivo de limpieza propuesto (µg/L)
Benzo[a]pireno	0,84
Benzo[ghi]perileno	0,19
Indeno[1,2,3-cd]pireno	0,26
MEZCLA TPH C ₁₀ -C ₄₀	3000,0

Tabla 2. Objetivos de limpieza propuestos

4.1.3. Excavación y retirada del depósito de combustible.

En agosto de 2014 la USC procedió a la excavación de los materiales del entorno del antiguo depósito de combustible situado en uno de los patios inferiores de la Facultad de Farmacia, y a la retirada del mismo. En el lugar donde se encontraba el depósito se instaló un pozo de registro, permeable e inspeccionable desde la superficie, para poder tener acceso a las aguas subterráneas en caso de tener que realizar actuaciones de remediación adicionales.

En las paredes de la zona se observa la presencia de tubos y restos de tubería plástica, así como ladrillos. Se detecta en la zona un fuerte olor a gasoil.

Las tareas de excavación finalizaron el 11 de agosto de 2014, y la USC gestionó los materiales excavados, incluyendo tierras y depósito, a través de un gestor autorizado. Las tierras con presencia de hidrocarburos fueron identificadas con el código LER 170503*, y transportadas por Transportes Gabeiras Martinez S.L. a la planta de Sogarisa S.A.⁸ en As Somozas (A Coruña), totalizando 29.300 kg. No se realizó una gestión independiente de aguas ya que esas se trasportaron con las tierras.

Los residuos de las capas superiores sin presencia de evidencias de contaminación fueron identificados con el código LER 170502, y valorizados por Residuos y Reciclajes de Santiago, S.L.⁹ en su planta de Casalonga-Calo (Teo, A Coruña). La cantidad aproximada es de 20 m³.

4.1.4. Comprobación de la descontaminación.

Aunque la estabilidad de la obra aconsejaba cerrar cuanto antes el hueco dejado por la excavación, sin embargo, se procedió a la toma de muestras de suelos en distintos puntos de la zona donde se ubicaba un antiguo tanque de gasoil, así como del agua del fondo de excavación.

En total, el día 22 de agosto de 2014 se tomaron de forma manual 6 muestras en puntos distribuidos en la zona de estudio según la distribución que se aprecia en la foto 2.

También se tomó una muestra del agua del fondo de la excavación identificada.

En estas muestras de suelo se realizó la determinación de TPH, TPH volátiles, MTBE, BTEX y PAH, siendo la única contaminación relevante la obtenida por las fracciones C₁₀-C₃₅ de TPH. En la muestra de agua del fondo de excavación se ejecutó el mismo programa analítico obteniéndose valores por encima de los niveles de referencia en PAH y TPH.



Foto 1. Vista general del emplazamiento.



Foto 2. Localización de las muestras



Foto 3. Vista de los antiguos piezómetros.



Foto 4. Presencia de tuberías y residuos.

Tomando en consideración la contaminación residual en suelos y aguas se concluyó que con la retirada del depósito y material circundante no se había conseguido eliminar completamente la contaminación, y que sería necesario, entre otras cosas, reponer la red de control.

4.1.5. Reposición de terrenos.

Aún sin disponer de los resultados de la evaluación de las tierras del fondo de excavación se procedió a la reposición de terrenos. Se siguió este procedimiento teniendo en que no resultaba seguro, debido a la estabilidad de los taludes, permanecer con el hueco de excavación abierto ni continuar con la retirada de materiales.

Los trabajos de llenado y acabado de superficie, estaban terminados el 30 de septiembre de 2014, e incluyeron el relleno con materiales limpios y el hormigonado en superficie. Tal y como se indicó con anterioridad, al realizar el relleno se dejó establecido un pozo de registro hasta el fondo de excavación para el que se habilitó una arqueta registro en superficie.

Con la ejecución de las labores de descontaminación gran parte de la red piezométrica existente con anterioridad a la descontaminación ha quedado inutilizada. De hecho, de los piezómetros instalados para la descontaminación inicial, tan solo siguen siendo utilizables los puntos P-6, P8 y P-12, ya que las labores de descontaminación también se extendieron a donde se ubicaban los puntos P10 y P-11 donde se hizo una pequeña excavación, pero no se alcanzaron niveles contaminados.

Con el objeto de reponer la red de control y evaluar la situación del emplazamiento 6 meses después de las actuaciones, se procedió a la realización de una investigación del suelo cuyos resultados se reflejan en el informe Ema-3683 “Análisis de Suelos y Aguas en el Entorno de la Facultad de Farmacia de Santiago de Compostela.” de marzo de 2015.¹⁰

En esta investigación se ejecutaron dos nuevos piezómetros, identificados como Nuevo P-1 y Nuevo P-2. Se realizaron analíticas de suelo y aguas en estos puntos, y además se muestrearon las aguas en el antiguo punto P-8 y en la arqueta de control (PB). Es importante destacar en el piezómetro Nuevo P2 se detectó la presencia de una fase libre de hidrocarburos de unos 30 cm de espesor aparente.

En cuanto a los suelos, y al igual que en la ocasión anterior, la única contaminación relevante fue la relacionada con la presencia de TPH. En las aguas subterráneas se obtuvieron valores significativos tanto para PAH como para TPH.



Foto 6. Zona de actuación donde se localizaba el piezómetro. Foto 7. Zona piezómetro P-1 y arqueta de pozo de registro.



Foto 8. Zona piezómetro P-2.

Foto 9. Lugar donde se localizaban los puntos P-10-11.

Se concluyó que con la retirada del depósito y material circundante **no se ha conseguido eliminar completamente la contaminación**. De hecho, las actuaciones llevadas a cabo es posible que hayan liberado restos de gasoil almacenado en las conducciones. Es posible que sea, por tanto, necesario abordar labores adicionales de descontaminación a través del pozo de registro que ha quedado instalado en el emplazamiento.

4.1.6. Últimos piezómetros ejecutados.

Para alcanzar el objetivo de establecer una caracterización de la distribución espacial de la contaminación, se abordó en abril de 2016 la instalación de tres nuevos piezómetros denominados NS-1 a NS-3.

La descripción de estos sondeos y los resultados obtenidos se describen en el informe “Análisis de Suelos y Aguas en el Entorno de la Facultad de Farmacia de Santiago de Compostela (A Coruña) (EMA-4171 R.00).

La figura 5 muestra la distribución y ubicación de los puntos actuales de los piezómetros instalados.

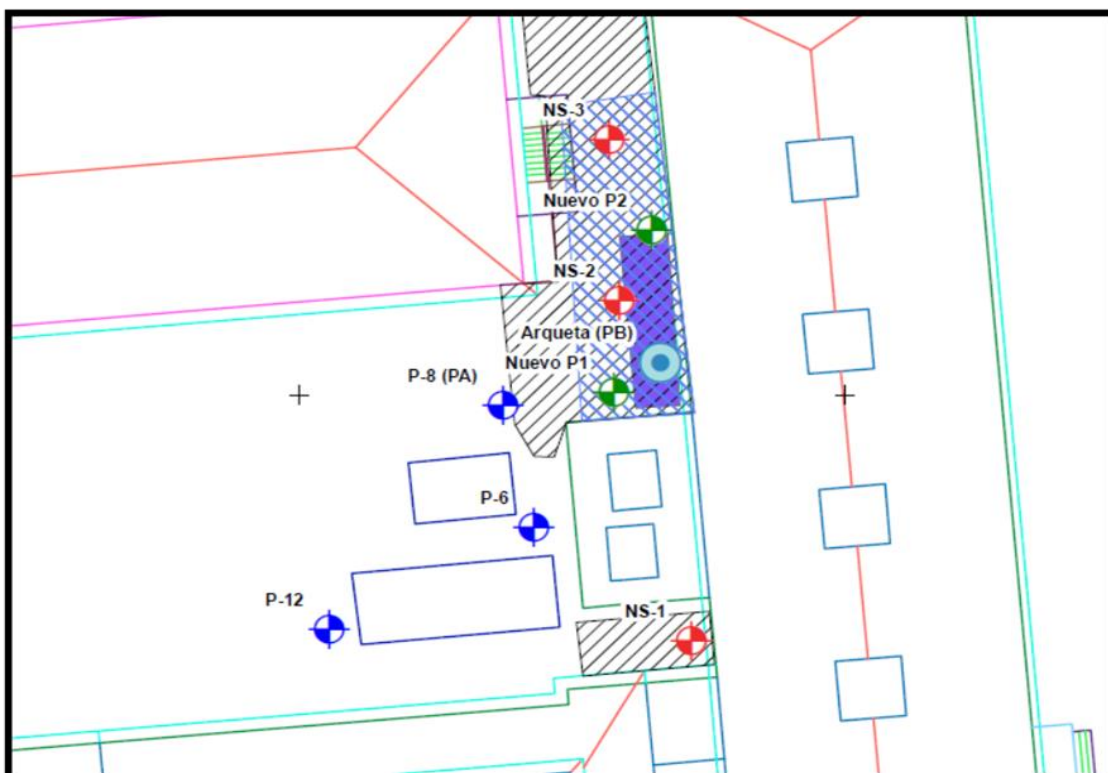


Figura 5. Esquema de distribución de puntos actuales piezométricos.

Tras esta investigación, los resultados de los valores obtenidos en los puntos piezométricos disponibles para el seguimiento y tratamiento de las aguas se resumen en la tabla 3:

	Suma TPH (C ₁₀ -C ₃₅)	Benzo[a]pireno	Benzo[ghi]perileno	Indeno[123-cd]pireno
Umbral de limpieza del análisis de riesgos (µg/L)	3000	0,84	0,19	0,26
NS-1 ^a	380000	0,21	0,18 ± 0,02	0,16
NS-2 ^a	70000	0,35	0,28 ± 0,03	0,27 ± 0,02
NS-3 ^a	14000	<0,050	<0,050	<0,050
P-12 ^c	<400	<0,010	<0,010	<0,010
P-6 ^c	<400	<0,010	<0,010	<0,010
P-8 (PA) ^c	<400	<0,010	<0,010	<0,010
Arqueta (PB) ^c	<400	<0,010	<0,010	<0,010
Nuevo P-1 ^b	<400	<0,010	<0,010	<0,010
Nuevo P-2 ^b	480000	2,6	1,9	2

Tabla 3. Resultados de análisis de aguas más relevantes en el informe EMA-4171. ^a Piezómetro instalado en el 2016. ^b Piezómetro instalado en el 2014. ^c Piezómetro instalado en el 2010.

A partir de los datos contenidos en este informe, se obtuvieron las siguientes conclusiones principales:

- En cuanto a las aguas, se obtienen valores de PAH que superan el valor de intervención de la legislación holandesa⁷ en los puntos NS-1, NS-2 y Nuevo P-2, así como el umbral de limpieza establecido para el benzo[a]pireno y benzo[ghi]perileno en el análisis de riesgos realizado para este emplazamiento.
- Las muestras correspondientes a los puntos NS-1, NS-2, NS-3 y Nuevo P-2 presentan valores de TPH por encima del nivel de intervención establecido del establecido en la valoración de riesgos. En el piezómetro Nuevo P-2 se aprecia además la presencia de una fase libre de hidrocarburos de unos 10 cm de espesor aparente.
- En cuanto a los suelos, se observan valores de TPH en los nuevos piezómetros por encima del umbral de 50 ppm en varias muestras, pero especialmente en las profundas del NS-3.

4.1.7. Seguimiento posterior

En enero de 2017 se realizó un seguimiento del estado de las aguas subterráneas y, aprovechando la realización de obras de remodelación en los sótanos de la facultad, se realizó una comprobación de la calidad de los suelos debajo del edificio principal situado anexo a la zona donde se ubicaba el depósito de combustible.

Los resultados de esta investigación se detallan en el informe “Análisis de Suelos y Aguas en el Entorno de la Facultad de Farmacia de Santiago de Compostela EMA-4453 R.00”.

Se procedió a la realización de cuatro calicatas mecánicas en el subsuelo del edificio principal de la Facultad aprovechando el levantamiento de la solera para realizar trabajos de renovación del edificio. Los puntos de muestreo se distribuyeron según se puede apreciar en la figura 4. Las perforaciones se realizaron siguiendo el procedimiento específico PS-02 “Procedimiento específico de perforaciones y toma de muestras de suelo”.

Las calicatas o catas son una de las técnicas de prospección empleadas para facilitar el reconocimiento geotécnico, estudios edafológicos o pedológicos de un terreno. Son excavaciones de profundidad pequeña a media. Las calicatas permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar y, por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa.¹¹

En la foto 10 se puede apreciar la zona de investigación en el interior del edificio. Tras el muro que se muestra en esta fotografía se encontraba antiguamente el depósito de combustible.

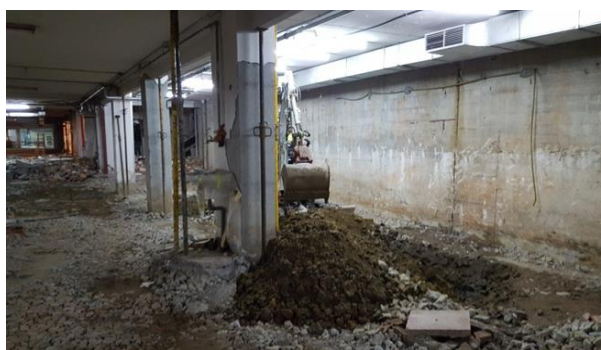


Foto 10. Zona ejecución de calicatas en el sótano.

En estas calicatas únicamente se encontró contaminación relevante en la calicata C4, en la que los valores de TPH alcanzaron 2400 mg/kg, detectándose además trazas de PAH y TPH en las aguas que afloran en la misma, aunque por debajo de los umbrales marcados en la valoración de riesgos.

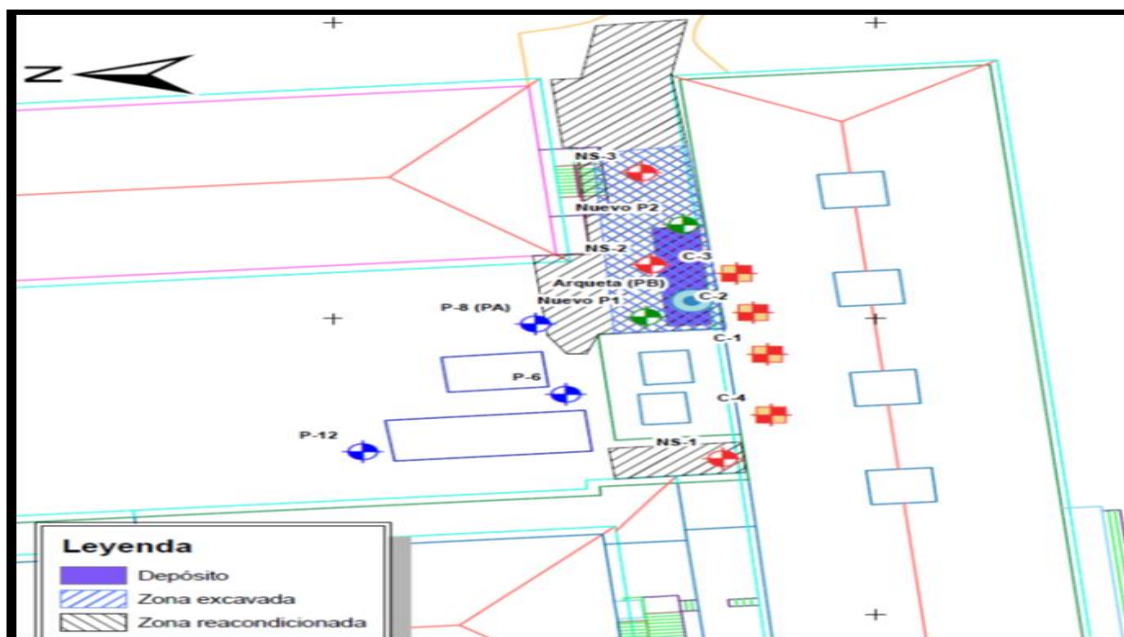


Figura 4. Puntos de control en la investigación de enero de 2017.

En la tabla 4 se resumen los valores obtenidos de TPH y PAH en los piezómetros instalados en el 2017.

	Suma TPH (C ₁₀ -C ₃₅)	benzo[a]pireno	benzo[ghi]perileno	indeno[1,2,3cd]pireno
Umbral de limpieza del análisis de riesgos (µg/L)	3000	0,84	0,19	0,26
NS-1	2000000	0,25	0,23	0,21
NS-2	630000	2,3	1,7	1,6
NS-3	530	<0,01	<0,01	<0,01
P-12	<400	<0,01	<0,01	<0,01
P-6	<400	<0,01	<0,01	<0,01
P-8 (PA)	<400	<0,01	<0,01	<0,01
Arqueta (PB)	<400	<0,01	<0,01	<0,01
Nuevo P-1	<400	<0,01	<0,01	<0,01
Nuevo P-2	188000	3,2	2,6	2,6

Tabla 4. Resultados de análisis de aguas en piezómetro más relevantes en el informe EMA-4453

Es importante destacar que en el piezómetro Nuevo P-2 se llegó a detectar la presencia de fase libre de hidrocarburo con un espesor aparente de unos 5 cm. Esto podría tener un alcance muy local y estar relacionado con restos de las labores de descontaminación, de hecho, en los sucesivos muestreos se ha ido observando una disminución en el espesor de esta capa. Es por ello que se recomendó, antes de acometer un proyecto de descontaminación, realizar una prueba de extracción de esta fase libre y comprobar si se genera, lo que sería indicativo de un mayor alcance de la afección.

4.1.8. Seguimiento del tratamiento de aguas subterráneas.

Los trabajos de extracción de aguas tuvieron por objetivo realizar una tentativa de extracción de hidrocarburos en el piezómetro Nuevo P-2 en el que se ha detectado la presencia de hidrocarburos libre.

Los trabajos se realizaron entre los días 14 y 16 de marzo del 2017, y consistieron en el empleo de una bomba de fluidos totales y el traslado a un bidón del producto recuperado.

Es importante destacar que en el momento de iniciar los trabajos ya no detectaba la presencia de hidrocarburos en forma de fase libre en el piezómetro P-2, si bien las aguas si presentaban una evidente contaminación por hidrocarburos.

El equipo empleado es una bomba Geotech 3.5 Reclaimer que es una bomba de desplazamiento de aire positivo que puede ser configurada como llenado superior, llenado inferior o llenado inferior y superior con admisión fija. Está diseñada para recuperación de fluidos totales, hidrocarburos, lixiviados y condensados.

El equipo se configuró para funcionar exclusivamente por llenado superior y de esta forma extraer las aguas con mayor concentración de hidrocarburos.



Foto 11. Disposición de equipos para bombeo.

Aunque en un principio estaba previsto restringir la actuación al piezómetro Nuevo P2, finalmente se realizaron también pruebas de bombeo en los puntos Nuevo P1, NS-1, NS-2 y NS-3. En todos los casos los niveles freáticos se recuperaban con rapidez tras el bombeo.

Se extrajeron en total unos 600 L de aguas hidrocarbурadas, pero en ningún caso se trató de hidrocarburo libre, apreciándose que tras un breve bombeo las aguas extraídas ya eran limpias.

Se obtienen valores por encima del umbral del análisis de riesgos en el piezómetro NS-1, y en la muestra del NS-3 (final) no se puede establecer la conformidad al considerar la incertidumbre asociada, como se observa en la tabla 5.

	Parámetros µg/L	Objetivo según análisis de riesgos	Nuevo P-1 final	Nuevo P-2 inicial	Nuevo P-2 Final	NS-1 final	NS-3 final
			UF-3	UF-1	UF-1.1	UF-4	UF-2
TPH	C ₁₀ -C ₁₂		<10	280	180	54000	670
	C ₁₂ -C ₁₆		<10	500	250	230000	1200
	C ₁₆ -C ₂₁		<10	320	67	270000	810
	C ₂₁ -C ₃₀		<15	93	<15	98000	260
	C ₃₀ -C ₃₅		<10	<10	<10	1400	12
	C ₃₅ -C ₄₀		<10	<10	<10	310	<10
	TPH C ₁₀ -C ₃₅	3000	<38	1200	500 ± 165	650.000	2900 ± 957

Tabla 5. Contenido de TPH en aguas.

En la tabla 6 se resume la evolución de la contaminación por TPH detectada en los piezómetros a lo largo de los últimos muestreos realizados. Como se puede apreciar existe una variabilidad importante en los resultados analíticos obtenidos a lo largo de la serie.

Por otra parte, las obras que se están realizando en el sótano han permitido además acceder a una conducción de drenaje que toma aguas en la zona del NS-1 y las conduce a la red general de pluviales. Según observaciones realizadas por el personal que está ejecutando las obras, se puede apreciar como cuando se producen importantes precipitaciones las aguas que afloran en este drenaje presentan contaminación por hidrocarburos, siendo completamente transparentes el resto del tiempo.

Todo esto hace pensar que existe una bolsa de contaminación remanente que migra poco a poco, en dirección suroeste, bajo el edificio, lo que explicaría la presencia de contaminación en los suelos del sótano.

	Noviembre 2015	Abril 2016	Enero 2017	Marzo 2017 Previo al bombeo	Marzo 2017 Posterior al bombeo
Umbral de limpieza del análisis de riesgos 3 mg/L					
NS-1	--	380	2000	--	650
NS-2	--	70	630	--	--
NS-3	--	14	0,53	--	2,9
P-12	<0,038	<0,4	<0,4	--	--
P-6	<0,038	<0,4	<0,4	--	--
P-8 (PA)	<0,038	<0,4	<0,4	--	--
Arqueta (PB)	<0,038	<0,4	<0,4	--	--
Nuevo P-1	<0,038	<0,4	<0,4	--	<0,038
Nuevo P-2	1,8	4800	188	1,2	0,5

Tabla 6. Evolución de TPH (expresados en mg/L) en los últimos muestreos.

4.2. Trabajo realizado durante mis prácticas profesionales.

Durante mis prácticas en la empresa Eptisa, desde el 5 de marzo hasta el 7 de junio del 2018, me incorporé al equipo de medio ambiente, estuve estudiando los avances del proyecto de descontaminación de suelos, actualmente en investigación. Analizando los informes de los resultados obtenidos en los suelos contaminados y sus componentes. Durante este proceso se descubrió que el suelo objeto de investigación está contaminado por biodiesel, proveniente de una bomba de gasoil localizada en la zona de investigación.

Las normativas de aplicación para el análisis de ensayo de los suelos que se toman en cuenta:

- El R.D. 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. Ministerio de Medio Ambiente.¹
- El Decreto 60/2009, de 26 de febrero, sobre suelos potencialmente contaminados y procedimiento para la declaración de suelos contaminados. Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostenible.¹²

Para las aguas subterráneas la normativa de aplicación que se toma en cuenta es:

- Circular sobre remediación de suelos 2013, de 27 de junio de 2013. Ministerio de Infraestructura y Medio Ambiente de Holanda.¹³

- La legislación de aguas se toma como orientativa ya que, si bien se toma usualmente como referencia, no es de aplicación obligatoria en España¹⁴

Los análisis de las muestras del suelo y agua consistirán en la cuantificación de los parámetros siguientes:

- TPH y TPH volátiles con separación de cadenas analíticas y aromáticas.
- PAH.
- BTEX/MTBE (en aguas subterráneas).
- pH, conductividad (en aguas subterráneas).

Los ensayos de los parámetros de pH en aguas subterránea se realizaron de acuerdo a lo establecido en la Normativa UNE 7234, para la determinación de pH en aguas subterráneas.¹⁵

En el análisis de las muestras de TPH se llevó a cabo una caracterización de los hidrocarburos totales de petróleo mediante cromatografía de gases,¹⁶ distribuidos por intervalos del número de carbonos presentes en sus cadenas, diferenciando entre cadenas de tipo alifáticas y aromáticas. No solo los compuestos derivados que por su toxicidad ya son normalmente estudiados (BTEX, PAHs, MTBE) sino también aquellos que contribuirán a la demanda de oxígeno durante la biodegradación.

Las muestras tomadas fueron almacenadas en envases adecuados a los parámetros que se van a determinar y guardadas a baja temperatura en una nevera portátil hasta su transporte al laboratorio donde se analizan por el personal especializado para dicha actividad. Las muestras se identificaron mediante etiquetas indicando el punto de muestreo, la hora y fecha de la toma y el responsable del muestreo.

4.2.1. Resultados de aguas y suelos.

Concluimos que los valores obtenidos de PAH en suelos, en los parámetros determinados se encuentran por debajo de los valores genéricos de referencia contemplados en el anexo V del R.D 9/2005 para uso industrial.

Para medir el nivel de TPH en las calicatas realizadas se toma como valor de referencia los 50 mg/kg a que hace referencia el anexo IV del R.D. 9/2005 y que marca el límite a partir del cual es necesario hacer un análisis de riesgos para valorar los posibles escenarios de exposición. Los resultados se muestran en la tabla 7.

Parámetros (mg/kg)		C1	C2	C3	C4-M1 (prof.30 cm)	C4-M2 (prof.90 cm)		
		AV- 84955	AV- 84956	AV- 84957	AV- 84958	AV- 84959		
TPH Volátil	Alifáticos	C ₅ -C ₆	<2	<2	<2	<2	<2	
		C ₆ -C ₈	<2	<2	<2	<2	<2	
		C ₈ -C ₁₀	<2	<2	<2	16	18	
		Suma C ₅ -C ₁₀	<6	<6	<6	17	19	
	Aromáticos	C ₆ -C ₈	<2	<2	<2	<2	<2	
		C ₈ -C ₁₀	<2	2,3	<6	<6	<6	
		Suma C ₆ -C ₁₀	<8	<8	<8	<8	<8	
	Suma TPH volátiles C ₅ -C ₁₀		<6	2,3	<14	17	19	
	TPH	Alifáticos	C ₁₀ -C ₁₂	<2	<2	<2	160	95
			C ₁₂ -C ₁₆	<8	<8	<8	570	260
C ₁₆ -C ₂₁			<8	<8	<8	660	270	
C ₂₁ -C ₃₅			<12	<12	<12	250	94	
Suma C ₁₀ -C ₃₅			<25	<25	<25	1650	722	
Aromáticos		C ₁₀ -C ₁₂	<2	<2	<2	23	15	
		C ₁₂ -C ₁₆	<8	<8	<8	130	87	
		C ₁₆ -C ₂₁	<8	<16	<8	420	180	
		C ₂₁ -C ₃₅	<12	<24	<12	150	53	
		Suma C ₁₀ -C ₃₅	<25	<12	<25	727	337	
Suma TPH C ₁₀ -C ₃₅		<50	<50	<50	2400	1100		

Tabla 7. Contenido de las calicatas de TPH en suelos.

En las muestras de calicatas C4-M1 y C4-M2 los valores obtenidos superan los 50 mg/kg especificados como valor de referencia en el RD 9/2005.

En la tabla 8 se muestran los resultados de los ensayos de PAH en las aguas, y se obtienen valores que superan el valor de intervención de la legislación holandesa⁷ en los puntos NS-1, NS-2 y P-2, así como en el agua aflorante en la calicata C4. También se obtienen valores para el benzo[*a*]pireno, Indeno[123-*cd*]pireno y benzo[*ghi*]perileno que se encuentran por encima del objetivo de limpieza establecido en el análisis de riesgos.

Parámetros ug/L	Valor intervención Legislación Holandesa	Umbral de limpieza del análisis de riesgos	NS-1	NS-2	NS-3	P12	P6	P8(PA)	Arqueta (PB)	P1	P2	Agua arqueta	Agua calicata4	Blanco de equipo
			AV- 84961	AV- 84962	AV- 84963	AV- 84964	AV- 84965	AV- 84966	AV- 84967	AV- 84968	AV- 84969	AV- 84972	AV- 84971	AV- 84970
Acenafteno	-	-	8	44	0,26	<0,01	<0,01	0,021	<0,01	0,029	77	<0,01	8,3	<0,01
Acenaftileno	-	-	<0,05	9,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	13	<0,05	1,4	<0,05
Antraceno	5	-	12	<1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	32	<0,01	5,3	<0,01
Benzo[a]antraceno	0,5	-	0,081	1,9	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	4,1	<0,01	<0,2	<0,01
Benzo[a]pireno	0,05	0,84	0,25	2,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	3,2	<0,01	<0,2	<0,01
Benzo[b]fluoranteno	-	-	0,37	2,9	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	4,5	<0,01	<0,2	<0,01
Benzo[ghi]perileno	0,05	0,19	0,23	1,7	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	2,6	<0,01	<0,2	<0,01
Benzo[k]fluoranteno	0,05	-	0,12	1,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,8	<0,01	<0,2	<0,01
Criseno	0,02	-	1,7	1,4	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	6	<0,01	0,5	<0,01
Dibenzo[a,h]antraceno	-	-	<0,01	<1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<1	<0,01	<0,2	<0,01
Fenantreno	5	-	27	<1	<0,01	<0,01	<0,01	0,016	0,015	0,014	230	<0,01	26	<0,01
Fluoranteno	1	-	4,2	12	0,011	<0,01	<0,01	<0,01	0,039	<0,01	18	<0,01	1,3	<0,01
Fluoreno	-	-	19	38	0,12	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,03	160	<0,01	17	<0,01
Indeno[1,23 cd]pireno	0,05	0,26	0,21	1,6	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	2,6	<0,01	<0,2	<0,02
Naftaleno	70	-	5,1	<2	0,2	<0,02	0,05	0,074	0,032	0,084	48	0,12	62	<0,02
Pireno	-	-	16	62	0,031	<0,01	<0,01	0,015	0,049	0,015	54	<0,01	5,6	<0,01

Tabla 8. Contenido de PAH en aguas

Parámetros ug/L	Valor intervención Legislación Holandesa	NS-1	NS-2	NS-3	P12	P6	P8(PA)	Arqueta (PB)	P1	P2	Agua arqueta	Agua calicata4	Blanco de equipo
Benceno	30	AV-84961 <0,20	AV-84962 <2,0	AV-84963 <0,20	AV-84964 <0,20	AV-84965 <0,20	AV-84966 <0,20	AV-84967 <0,20	AV-84968 <0,20	AV-84969 <0,20	AV-84972 <0,20	AV-84971 <0,26	AV-84970 <0,20
Tolueno	1000	3,0	<2,0	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,77	<0,20
Etilbenceno	150	<0,20	<2,0	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	7,6	<0,20	5,3	<0,20
Xilenos (suma)	70	<0,40	<4,0	<4,0	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	12	<0,40	29	<0,40
MTBE	9400	<0,30	<3,0	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30

Tabla 9. Contenido en BTEX/MTBE en aguas

En la tabla 9 se resumen los resultados de los análisis de BTEX/ MTBE en las aguas. Los valores obtenidos de BTEX/ MTBE de las muestras, se encuentran por debajo de la intervención establecido en la legislación holandesa.⁷

No se dispone de valores de referencia para TPH volátil ya que estos compuestos no están contemplados en la norma de referencia, y no fueron considerados inicialmente en la valoración de riesgos al no figurar dentro del programa analítico original. En cualquier caso, se pueden considerar como muy elevados los valores de los puntos NS-1 y P-2, y en menor medida los valores de los puntos NS-2 y el agua aflorante en la calicata C4.

Parámetros ug/L	Valor intervención Legislación Holandesa	Umbral de limpieza del análisis de riesgos	NS-1	NS-2	NS-3	P12	P6	P8(PA)	Arqueta (PB)	P1	P2	Agua Arqueta	Agua calicata	Blanco de equipo
Alifáticos	C10-C12	-	140000	43000	<25	<25	<25	<25	AV-82911	AV-82912	AV-82913	AV-82972	AV-84971	AV-84970
	C12-C16	-	420000	150000	49	<30	<30	<30		39	120000	1000	9300	<0,03
	C16-C21	-	500000	190000	72	42	<30	<30	37	56	140000	1200	9700	<0,06
	C21-C35	-	180000	70000	<40	60	<40	<40	<40	<40	490000	5000	3100	<0,04
	Suma C10-C35	-	1240000	45100	<200	<200	<200	<200	<200	<200	353000	8010	25500	<0,2
Aromaticos	C10-C12	-	15000	2800	120	<25	<25	<25	<25	<25	10000	450	1200	<0,025
	C12-C16	-	130000	29000	170	<30	<30	<30	<30	<30	42000	160	3500	<0,03
	C16-C21	-	450000	110000	74	<60	<60	<60	<60	<60	110000	440	7400	<0,06
	C21-C35	-	150000	39000	<60	<60	<60	<60	<60	<60	31000	1100	2000	<0,06
	Suma C10-C35	-	741000	182000	364	<200	<200	<200	<200	<200	188000	2200	14100	<0,2
Suma TPH C10-C35	600	3000	2000000	630000	530	<400	<400	<400	<400	<400	188000	10000	40000	<0,4

Tabla 10. Contenido de TPH en aguas en los piezómetros y calicatas.

En la tabla 10 se resumen los valores de TPH en aguas en los piezómetros y calicatas instaladas.

Como se puede observar, en los puntos NS-1, NS-2, P-2, arqueta sótano y C-4, el valor obtenido para TPH en la fracción C₁₀-C₃₅ se encuentran por encima del valor de intervención en la legislación holandesa, y muy por encima del valor establecido en el análisis de riesgos.

El resto de puntos muestreados no presentan valores por encima de los umbrales de aceptabilidad.

Otros parámetros analizados en los puntos localizados de muestreo en aguas subterráneas, son el pH, conductividad, temperatura y espesor aparente de hidrocarburos se muestran en la tabla 11.

	P-6	P-8 (PA)	P-12	P-1	P-2	Arqueta (PB)
	AV-81222	AV-81223	AV-81221	AV-81224	AV-81226	AV-81225
Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)^a	227	430	239	307	349	196
pH	6,6	7,1	5,2	7,8	7,6	6,9
Espesor aparente de hidrocarburo (cm)	30	----
Temperatura (°C)	14,3	13,1	14,0	14,5	14,3	13,0

Tabla 11. Otras caracterizaciones en aguas. a microSiemens/cm

5. Conclusiones.

A partir de los datos contenidos en este informe, podemos concluir, una vez consideradas las incertidumbres asociados a los ensayos:

- En cuanto a los suelos:
 - Los valores obtenidos para los PAH se encuentran por debajo del nivel genérico de referencia para uso urbano, establecido en la normativa de aplicación.
 - En las muestras de la calicata C4 los valores obtenidos de TPH superan el valor de referencia establecido en el R.D 9/2005, a partir del que sería necesario realizar una valoración de riesgos para la salud.
- En cuanto a las aguas:
 - Los valores obtenidos para los BTEX y MTBE se encuentran por debajo del valor de intervención establecido en la legislación holandesa.
 - Se obtienen valores de PAH que superan el valor de intervención de la legislación holandesa en los puntos NS-1, NS-2, agua C4 y P-2, así como el umbral de limpieza establecido para el benzo[*a*]pireno, indeno[1,2,3-*cd*]pireno y benzo[*ghi*]perileno que en el análisis de riesgos realizado para este emplazamiento.
 - Las muestras correspondientes a los puntos NS-1, NS-2 y P-2, así como el agua de la arqueta del sótano y el agua aflorante en la calicata C4 presentan valores de TPH por encima del nivel de intervención establecido en la legislación holandesa y del establecido en la valoración de riesgos.

Por tanto, respecto a los suelos y aguas subterráneas de la parcela estudiada se puede establecer que son **no conformes** respecto los umbrales tomados como referencia.

En base a los datos de seguimiento analíticos se propone llevar a cabo las siguientes actuaciones:

- Se descartaron las técnicas de tratamiento *ex situ* debido a que la zona contaminada se encuentra debajo del edificio de la Facultad de Farmacia, y además no se permite retirar el suelo contaminado. Adicionalmente, el ingreso de maquinarias y equipo es limitado. Prefiriéndose por tanto un tratamiento *in situ* basándose no solo en las características ambientales, geográficas, demográficas y ecológicas del sitio sino también las características del contaminante, del suelo y los costos operativos.

- Se descartó un método de descontaminación *in situ*, ya que, aunque su principal aplicación es para la descontaminación de hidrocarburos, tienen un elevado costo energético y hay que realizar control continuo.
- Se descartaron las técnicas de contención, ya que, aunque estas son empleadas para evitar la migración de los agentes contaminantes, se deben emplear en combinación con otras técnicas como la de bombeos. Implican un esfuerzo importante de mantenimiento y en consecuencia alto coste.
- En cuanto a otras técnicas, la atenuación natural se descartó puesto que requiere plazos muchos más largos que los métodos activos para conseguir las mismas concentraciones residuales. Se trata de un plan de actuación cuya implantación puede alargarse durante años.
- La técnica seleccionada para la recuperación de los suelos contaminados es la biorremediación asistida. Esta es una técnica sencilla que consiste en verter los mismos nutrientes que están descompensados, (fosfato, nitrógeno, etc) y dejar que los microorganismos que ya están presentes “hagan su trabajo”. La biorremediación asistida requiere plazos muchos más cortos que la atenuación natural, pero que en todo caso son largos, superando en general un año.
- Para aplicar las técnicas de biorremediación asistida, se deben tener datos actualizados de los parámetros tales como: la humedad, oxígeno disuelto, temperatura, pH, disponibilidad de nutrientes, presencia de microorganismos, etc.

Conclusions

From the data contained in this report, we can conclude, once the uncertainties associated with the trials are considered:

- *Regarding the soils:*
 - *The values obtained for the PAHs are below the generic reference level for urban use, established in the applicable regulations.*
 - *In the samples of the C4 test pit, the values obtained for TPH exceed the reference value established in R.D. 9/2005, from which it would be necessary to carry out an assessment of health risks.*
- *Regarding the waters:*
 - *The values obtained for the BTEX and MTBE are below the intervention value established in the Dutch legislation.*
 - *The obtained PAH values exceed the intervention value of the Dutch legislation in points NS-1, NS-2, water C4 and P-2, as well as the cleaning threshold established for benzo[a]pyrene, indeno[1,2,3-cd]pyrene and benzo[ghi]perylene that in the risk analysis performed for this site.*
 - *The samples corresponding to points NS-1, NS-2 and P-2, as well as the water in the basement pit and the outflow water in pit C4 have TPH values above the level of intervention established in the legislation Dutch and that established in the risk assessment.*

*Therefore, regarding the soils and groundwater of the studied plot, it can be established that they are **not in accordance** with the thresholds taken as reference.*

Based on the analytical monitoring data, it is proposed to carry out the following actions:

- *The methods of ex situ recovery were rejected because the contaminated area is under the building of the Faculty of Pharmacy, and therefore it is not allowed to remove the contaminated soil. Additionally, the entry of machinery and equipment is limited. The in situ techniques for decontamination are preferred based on not only the environmental, geographical, demographic and ecological characteristics of the site, but also, the characteristics of the pollutant, soil and operating costs.*
- *Decontamination in situ techniques were rejected, although its main application is for the decontamination of hydrocarbons, they have a high energy cost and it is necessary to carry out continuous control.*

- *The containment techniques were rejected, due to although, they can be used to prevent the migration of pollutant, they must be used combined with other techniques such as pumping. They also need an important effort of maintenance and consequently high cost.*
- *Natural attenuation was rejected, due to their longer deadlines, even more than active methods to achieve the same residual concentrations. It is an action plan whose implementation can be extended for years.*
- *Assisted bioremediation has been the technique selected for the recovery of contaminated soils. This is a simple technique that consists pouring the same nutrients that are decompensated, (phosphate, nitrogen, etc) and let the microorganisms present "do their job". Assisted bioremediation requires shorter times than natural attenuation, but in any case, they are long, exceeding in general one year.*
- *In order to apply assisted bioremediation techniques, updated data on parameters such as: humidity, dissolved oxygen, temperature, pH, availability of nutrients, presence of microorganisms must be available, etc.*

6. Bibliografía

1. Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. Madrid
2. http://residus.gencat.cat/es/ambits_dactuacio/sols_contaminats/causes_i_efectes_de_la_contaminacio_del_sol/causes_de_la_contaminacio_del_sol/ Revisado 19/06/2018
3. IHOBE, S.A. Guía técnica para la evaluación y gestión de la contaminación del suelo por tanques de almacenamiento subterráneo. País Vasco.
4. IGME, INIA, Ministerio de Medio Ambiente. (2007) Guía técnica Real Decreto, 9/2005, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. Madrid.
5. Ley 1/2005, 4 de febrero. (2005) para la prevención y corrección de la contaminación del suelo. País Vasco.
6. IHOBE, S.A. (1998) Guía de toma de muestras. País Vasco.
7. Ley 1/1987, de protección del suelo holandesa. (1987) Holanda.
8. Gestor de residuos Peligrosos N°SC-RP-XE-00002.
9. Gestor de residuos no peligroso N°SC-I-NP-XV-00017.
10. EMA-3683. Marzo. (2015) Análisis de suelos y aguas subterráneas en el entorno de la facultad de farmacia de Santiago de Compostela (A Coruña).
11. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/perfil-de-suelo-t29352.htm>
Revisado 2/07/2018.
12. Decreto 60/2009, 26 de febrero. (2009) sobre suelos potencialmente contaminados y procedimiento para la declaración de suelos contaminados. Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostenible. Xunta de Galicia.
13. Staatscourant, n° 16675, 27 de junio. (2013) Circular sobre remediación de suelos. Ministerio de Infraestructura y Medio Ambiente. Holanda.
14. Government Gazette, n° 16675, 27 de junio (2013) Circular sobre remediación del suelo. Ministerio de Vivienda, Planificación del Territorio y Medio Ambiente de Holanda. Dirección General de Protección Medioambiental. Dirección del suelo, agua y el medio rural. Departamento de gestión del suelo y las áreas rurales. Holanda.
15. Normativa UNE 7234. (2007) Determinación de la acidez de aguas destinadas al amasado de morteros y hormigones, expresada por su Ph. Madrid.

16. Normativa UNE 77307 (2000) Calidad del suelo. Determinación del contenido de aceite mineral. Método de espectrometría infrarroja y método de cromatografía de gases. Madrid.