

RESA/FICHTNER dirige la descontaminación de suelos y aguas subterráneas

En áreas industriales con una larga tradición histórica, se detectan a menudo suelos muy contaminados; un hecho provocado por décadas de mala gestión de materiales y productos, así como errores en el tratamiento de los materiales residuales, con el resultado de que muchos de estos suelos representan un grave riesgo de contaminación para los acuíferos utilizados en el suministro de agua. Las capas superficiales del terreno acostumbran a retener los contaminantes durante un período de tiempo más o menos largo, lo que significa que grandes cantidades de sustancias, con el consiguiente riesgo al medio ambiente, se liberan a la biosfera, incluso si las fuentes originales de contaminación han desaparecido.

Extracción suelo-vapor.

La mayoría de los hidrocarburos clorados que percolan a través de la superficie se fijan, en fase líquida, a las partículas del suelo y, después de su volatilización se localizan en los huecos de la zona no saturada. Dependiendo de las características del suelo, la extracción suelo-vapor se puede utilizar para eliminar contaminantes volátiles (ver el esquema del proceso en la Fig. 1). Se muestra la aplicación de esta técnica tomando como ejemplo dos proyectos con el mismo tipo de contaminantes y distinto entorno hidrogeológico.

Proyecto 1:

Las experiencias llevadas a cabo hasta la fecha con esta tecnología se limitaban, en principio, a profundidades máximas de 10 a 15 m. En contraste con trabajos anteriores, el proyecto que se describe a continuación tenía una zona no saturada muy permeable, contaminada con hidrocarburos clorados, de 50 m. de grosor. La necesidad de encontrar un medio óptimo para esta zona de 50 m. hizo necesario efectuar primero un proyecto piloto.

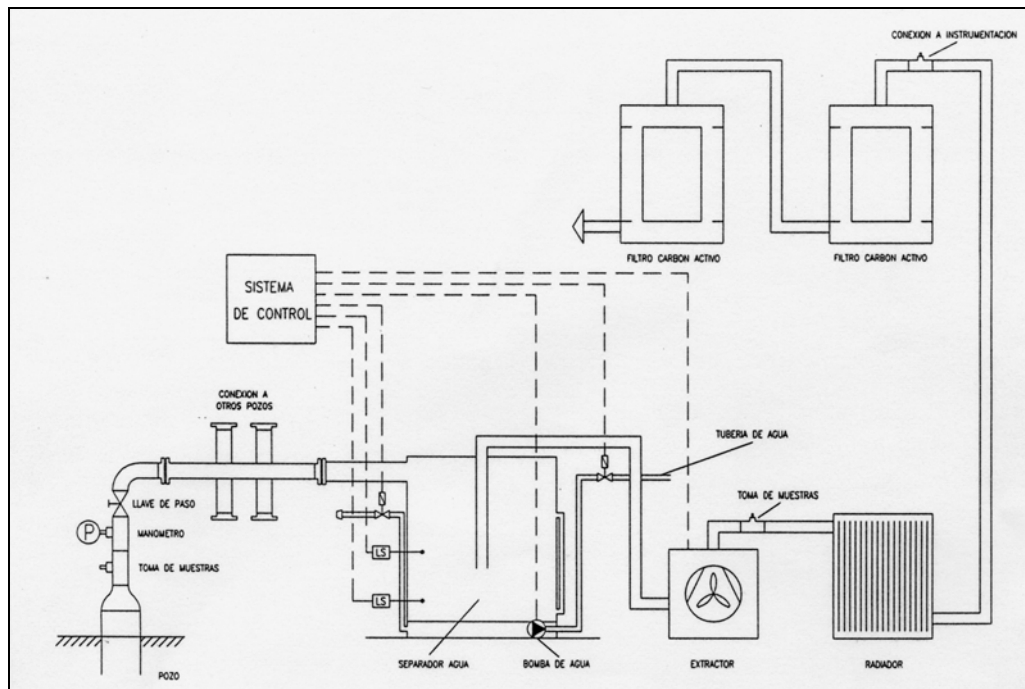


Fig. 1 Esquema del sistema de extracción suelo vapor

Se comenzó tomando muestras de aire del subsuelo y para asegurar que estas muestras fueran representativas de las zonas más profundas, se utilizó un sistema de extracción consistente en un obturador de aspiración, 50 m. de tubería y diversos puntos de toma de muestras.

Mediante este sistema fue posible bombear los vapores de hidrocarburos clorados del pozo de perforación, que no estaba recubierto, en un corto periodo de tiempo. Se redujeron al mínimo las paradas en la perforación y las muestras se tomaron directamente de la boca del pozo.

El sistema de trabajo para la extracción del vapor del suelo se basó en el conocimiento de la estructura de los estratos subterráneos, obtenido en los trabajos de perforación, así como en la distribución de los contaminantes en éstos.

Para conseguir la extracción simultánea en la zona entera de 50 m. de profundidad, desarrollamos un nuevo concepto de extracción en la que un triple respiradero, con secciones filtrantes instaladas a varias profundidades, aseguraba una elevada extracción del aire contaminado de cada nivel (Fig. 2).

En vista de los elevados costes que podían tener los estudios exploratorios de la contaminación en el acuífero, se incorporó un sistema para evaluar las concentraciones de hidrocarburos clorados en los 5 m. superiores del acuífero (se observa en la Fig. 2 que uno de los pozos alcanza esa profundidad).

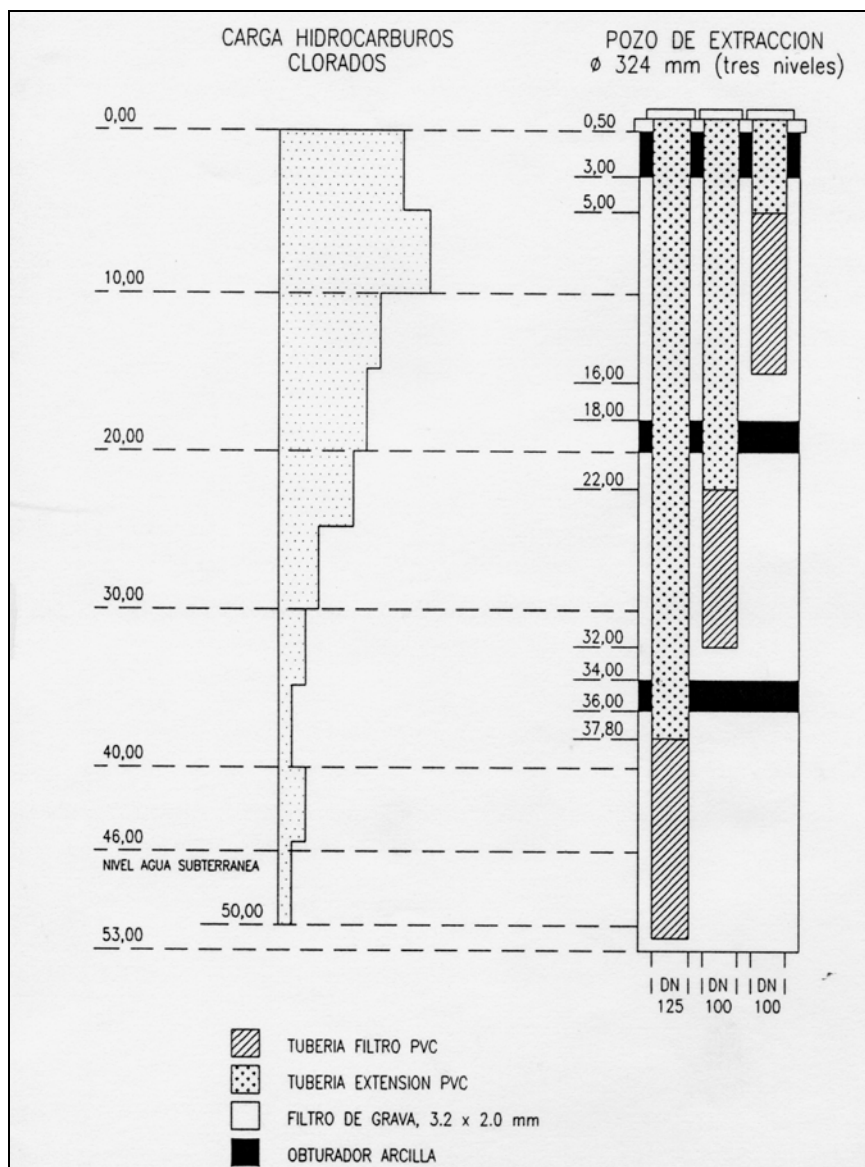


Fig. 2 Diseño del sistema de extracción a tres niveles

Los vapores del suelo saturados con hidrocarburos clorados fueron limpiados mediante una extracción suelo vapor de 3 líneas e instalación de eliminación, consistente en:

- conexión a la boca del pozo,
- separador de agua,

- extractor (compresor),
- filtros de carbón activo de 2 unidades en serie,
- instrumentación para la medición de presión y caudal y
- líneas aire-suelo.

Después de iniciar las operaciones, se determinó la influencia radial de la instalación de extracción por medio de pozos de control que se incorporaron al proyecto. Investigaciones mediante detectores de flujo de aire mostraron que, para suelos muy permeables, una instalación de extracción puede tener una influencia radial de 30 m. incluso debajo de edificios e infraestructuras, si las 3 líneas están operativas. Para obtener un radio de acción eficaz, el vapor del suelo tenía que ser extraído simultáneamente de los 3 niveles incluso si la concentración de hidrocarburos clorados en su nivel más inferior disminuía hasta un valor que justificaría, aparentemente, cesar la extracción a dicha profundidad.

El gráfico de la variación de contaminación del aire del suelo en el tiempo mostró en los primeros 3 días una gran disminución en la concentración de hidrocarburos clorados. Se apreciaba, sin embargo, un considerable incremento de hidrocarburos clorados entre el paro de la instalación al final de la jornada y la puesta en marcha de nuevo a la mañana siguiente.

Proyecto 2:

El proyecto que se describe a continuación afectó a un área con subsuelos cohesivos y cenagosos, contaminados también con hidrocarburos clorados. Con el fin de asegurar una extracción efectiva de vapores del subsuelo, se realizaron diversos tests de extracción con varios tipos de extractor en cada uno de los pozos de venteo. Estas investigaciones mostraron que una considerable cantidad de hidrocarburos clorados podían ser eliminados por la técnica de extracción suelo-vapor. Las consideraciones económicas llevaron a la instalación de un sistema de extracción único para todos los pozos de venteo, que comprendía los siguientes componentes:

- separador de agua al vacío con regeneración automática del agua de contacto, así como drenaje automático,
- bomba de vacío,
- colector con válvulas de control,
- refrigerante,
- filtro de carbón activo (350 kg aprox) y
- filtro de seguridad (80 kg aprox).

Estos componentes, con la excepción del colector y los dos adsorbedores, fueron instalados en un contenedor de acero para protegerlos de la intemperie.

Para determinar la influencia radial y la eficacia del sistema de extracción suelo vapor, se realizaron agujeros de perforación hasta 5 m. de profundidad, utilizando una broca de perforación de 35 mm. de diámetro.

Mediante la ayuda de detectores de flujo del aire, se determinó la presencia (o ausencia) de flujo a distintos radios de dichos pozos. Aunque dicha técnica sólo da una aproximación del rango de la extracción, los rangos efectivos hallados variaban entre 5 y 15 m.

Debido a la naturaleza heterogénea de la estructura del suelo, no se puede excluir la posibilidad que si la zona se hubiese muestreado más intensamente, se hubieran encontrado zonas sin un flujo apreciable de aire dentro del radio general de extracción.

Se detectó la presencia de percloroetileno y tricloroetileno en el subsuelo de unos edificios. Se hizo un seguimiento de la concentración de dichos contaminantes durante el proceso de extracción. Al realizar una estimación cuantitativa, después de dos meses se comprobó que las concentraciones de percloroetileno en el suelo se habían reducido en un factor de seis y las de tricloroetileno en un factor de doce. Asimismo, como en el proyecto anterior, las concentraciones se incrementaban al parar las operaciones, por lo que era necesario una operación intermitente de la planta.

Modelización de agua subterránea.

En el siguiente ejemplo, un suelo con elevadas características estabilizadoras, un substrato no cohesivo con una gruesa capa insaturada y gran profundidad hasta el nivel del agua subterránea, representa un riesgo para un acuífero móvil de similar grosor. Como la permeabilidad y los espacios huecos son elevados, provocan un elevado flujo de agua subterránea. Aunque la zona no saturada puede ser limpiada mediante las técnicas descritas anteriormente, el diseño de un dispositivo económico y efectivo sólo es posible mediante la utilización de modelos de flujo de agua subterránea y de migración de contaminantes.

En el futuro, la utilización de estos modelos aumentará, debido a la existencia de áreas con subsuelos contaminados que no han sido detectadas. Los penachos contaminantes no detectados continúan propagándose y sólo son descubiertos cuando contaminan recursos subterráneos de agua potable.

La recuperación y limpieza de la contaminación de otras épocas no constituye una actividad productiva, por lo que los presupuestos existentes para este propósito tienen que ser usados del modo más provechoso posible.

El modelo de flujo de agua subterránea se divide en un modelo de flujo para la simulación matemático-hidráulica del flujo de agua subterránea, y un modelo de migración de contaminantes para determinar la variación de las concentraciones de contaminantes individuales o grupos de sustancias, tanto espacial como temporalmente.

Ambos modelos funcionan de modo independiente el uno del otro, siendo la única conexión entre ellos el hecho de que el modelo de migración de contaminantes utiliza las velocidades del agua subterránea calculadas en el modelo de flujo. Mediante ambos modelos se calcularon los valores del flujo de agua y de la migración de contaminantes en estado estacionario y en condiciones de transición.

En el modelo de flujo, el área modelizada es subdividida en elementos de superficie discreta, siguiendo el método de elementos finitos, definido conforme a la investigación.

El área investigada es mucho mayor que el área contaminada debido a que el modelo precisa de unos límites claros que sólo se pueden fijar en las condiciones de frontera de un entorno hidráulico (sean aguas superficiales o subterráneas).

Cada subelemento representa una columna vertical del acuífero, con un flujo horizontal a través de éste. La cantidad de agua dada por un elemento depende de las diferencias en los niveles de agua (o gradiente hidráulico) y de la permeabilidad.

Adicionalmente, en la parte superior de la columna hay incrementos por precipitación o pérdidas debidas a la evapotranspiración, mientras que en la base hay incrementos o pérdidas por intercambios con formaciones de aguas más profundas. Finalmente, cada elemento puede almacenar agua, debido a un incremento en la presión.

Se realizan balances de agua para cada elemento: los intercambios horizontales de flujo de agua (desconocido) más las condiciones hidráulicas de contorno (conocidas) proporcionan un sistema de ecuaciones, cuya resolución proporciona la distribución piezométrica. Una exploración inicial debe proporcionar la información inicial. Es conveniente combinar este trabajo de campo, con una investigación de la zona insaturada: los sondeos realizados con este propósito indican la extensión del área del acuífero. A menudo sucede que los pozos existentes (pozos de trabajo y pozos de muestreo) no son suficientes para este propósito y hay que realizar más.

Las estimaciones iniciales de la permeabilidad se obtienen por inspección visual y uso del suelo, así como en pruebas de laboratorio, con lo que se obtienen unos perfiles de permeabilidad. Para grandes superficies tendrían que obtenerse unos valores más reales mediante pruebas de bombeo. Asimismo, en la extensión del área modelizada se preparan mapas de contorno del acuífero a partir de los niveles de aguas subterráneas medidos, que se utilizan para cálculos estimativos del sentido y niveles de flujo del agua subterránea.

El modelo de flujo se calibró utilizando las mediciones obtenidas en campo.

La comparación entre el cálculo matemático y un estado controlado y conocido, calibra y valora el modelo, que es entonces válido para propósitos de predicción. La Fig. 3 muestra la distribución de la permeabilidad, en una sección del área modelizada, resultado de la calibración.

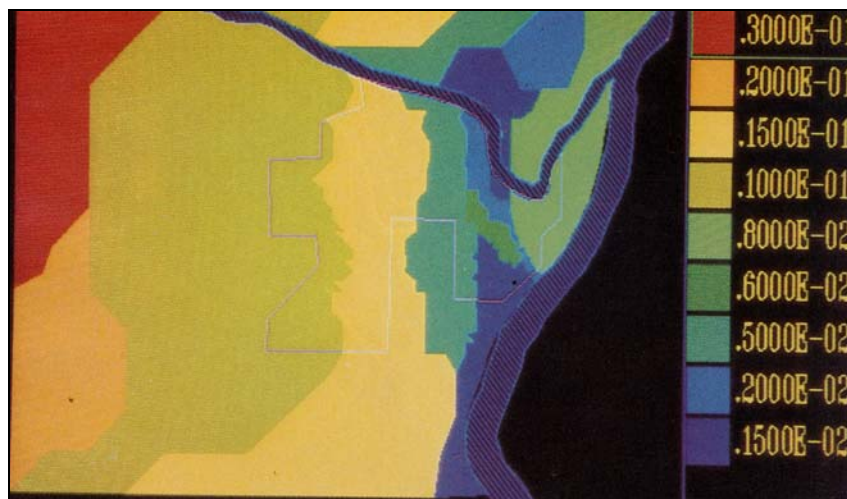


Fig. 3 Distribución de permeabilidades

A lo largo del río, que se aprecia en la parte derecha, las permeabilidades son menores que en el área de la izquierda.

Debido a los distintos usos del suelo, el área modelizada es dividida en zonas de diferente capacidad de penetración del agua en el subsuelo. La tierra arable (amarilla) muestra un elevado índice de recarga de agua, en contraste con la que muestra una elevada densidad de estructuras, que ofrecen un bajo índice de recarga, debido al elevado grado de escorrentía de la superficie del terreno. En el centro, a la izquierda, se aprecia una colina cuya capa superior de arcilla retarda mucho la entrada de agua a la zona subterránea.

La Fig. 4 representa las condiciones de flujo en el estado estacionario, con líneas de contorno del agua y vectores de flujo. Se aprecia que el flujo de agua subterránea se fracciona en flujos parciales hacia los 4 canales superficiales de agua.

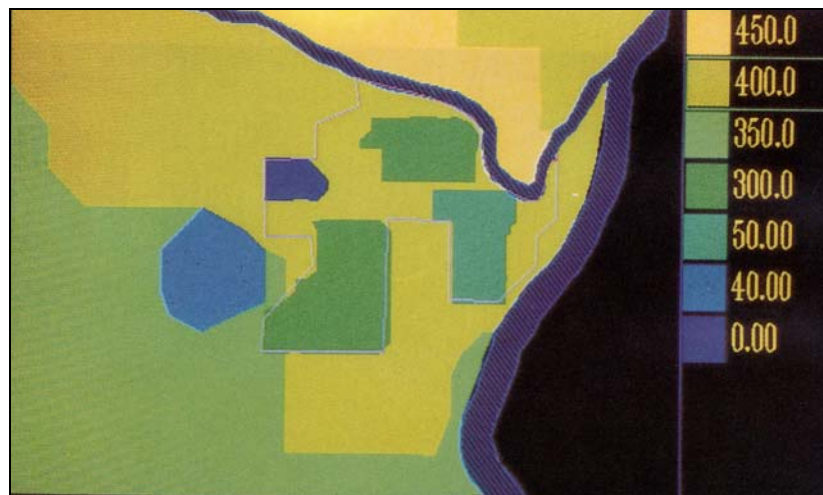


Fig. 4 Distribución de la recarga de agua subterránea

La migración de la contaminación es simulada utilizando el método de solución de características, con la misma descomposición de elementos. El flujo y la migración tienen la misma resolución local.

Aparte de la convección pura, para la que la concentración permanece constante, se consideran la dispersión (longitudinal y transversal) y las reacciones de degradación químicas (atenuación). Uno de los penachos contaminantes modelizado de esta manera, se muestra en la Fig. 5.

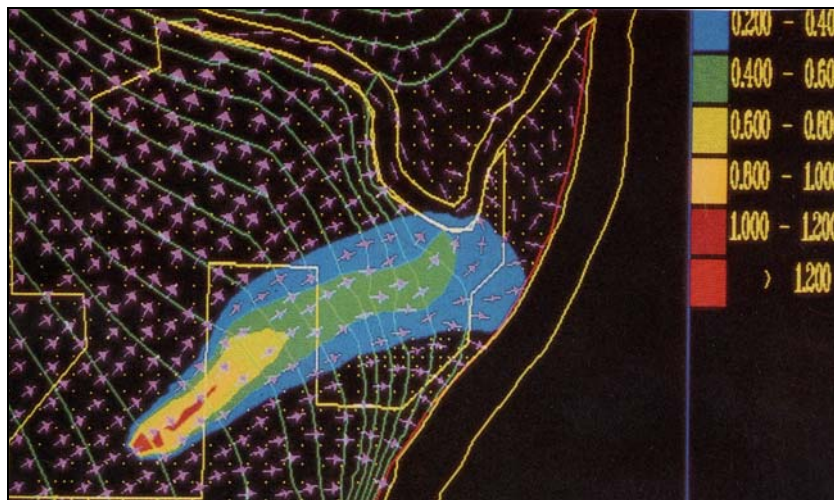


Fig. 5 Penacho contaminante modelizado

El sentido marcado por dicho penacho contaminante sigue aproximadamente el curso entre los dos canales de agua de la superficie y, al final, acaba entre ambos. Se calculó que el flujo máximo de contaminantes era de unos 100 kg/año. Se muestra la concentración de contaminantes en el agua subterránea, con valores situados entre 0,2 y 1,5 mg/l.

El último fin del proceso de modelización fue encontrar la posición más adecuada de los pozos de extracción, así como el modo de operación más adecuado para impedir la salida de contaminantes de la zona contaminada. Esto se consiguió mediante los 2 pozos, indicados como círculos en la Fig. 6, que interceptan el penacho completo. A un ritmo de extracción de 20 m³/h. cada uno y con una concentración promedio de contaminantes de 0,29 mg/l.

El propósito de este cálculo es, al final, minimizar la capacidad de la planta de tratamiento y, evidentemente, su coste. Asimismo se tomaron medidas para controlar la entrada de contaminantes en el suelo. Para incrementar la velocidad del saneamiento, las sustancias volátiles presentes en la zona no saturada son eliminadas mediante la técnica de extracción de vapor descrita anteriormente.

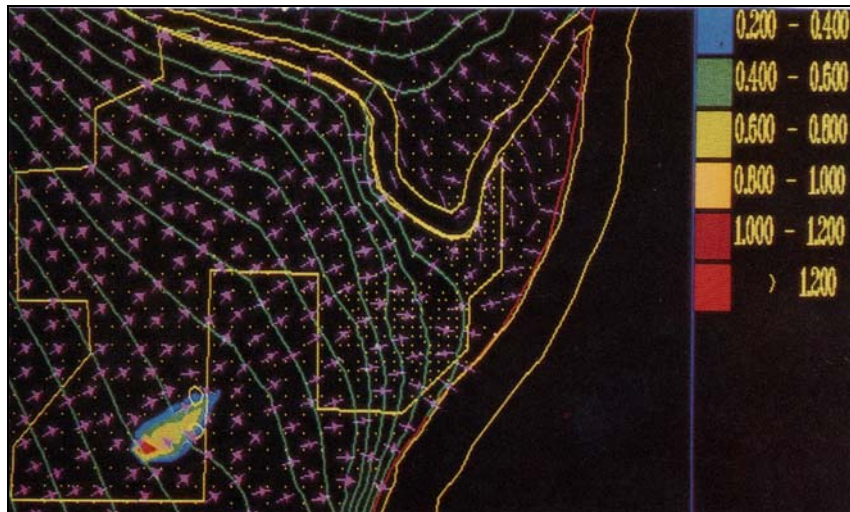


Fig. 6 Penacho contaminante después de la puesta en marcha de los equipos de extracción de los dos pozos de intercepción

Servicios de Ingeniería de RESA/FICHTNER.

RESA/FICHTNER realiza todos los servicios de consultoría necesarios para desarrollar trabajos exploratorios así como la ingeniería de inmovilización de contaminantes y los sistemas de recuperación de suelos y aguas. La capacidad multidisciplinar de los distintos departamentos de RESA/FICHTNER (Ingeniería Civil, Mecánica, Eléctrica y Medio Ambiente) que incluyen personal especializado en ciencias de la naturaleza e informática, su amplia experiencia de gestión de proyectos, así como su completa independencia tecnológica y financiera, garantizan que el trabajo se desarrollará de forma competitiva y correcta, de acuerdo con las mejores soluciones técnicas existentes y en el plazo previsto.

Los servicios de ingeniería ofrecidos por RESA/FICHTNER en el sector de la recuperación de suelos contaminados son:

- Estudio histórico.
- Muestreo e investigaciones.
- Elaboración de programas de exploración.
- Realización y supervisión del trabajo de campo y análisis de laboratorio.
- Modelización del flujo de agua subterránea.
- Modelización de la migración de contaminantes.
- Estudio general y evaluación de riesgos.
- Trabajos interdisciplinarios para el estudio y selección de las tecnologías más adecuada para la inmovilización de contaminantes y recuperación del área afectada.
- Selección de procesos y especificación de combinaciones del proceso.

- Optimización de procesos de recuperación para el saneamiento de agua subterránea.
- Estudios de viabilidad.
- Evaluaciones técnico-económicas.
- Ingeniería de detalle y especificación de procesos de inmovilización de contaminantes y medidas de recuperación.
- Evaluación de ofertas y recomendación de la mejor.
- Control del proyecto y dirección de obra.
- Acciones de control y evaluaciones de su eficacia.