



Comunidad de Madrid

Consejería de Medio Ambiente Vivienda y Ordenación del Territorio
Dirección General de Medio Ambiente

**GUÍA DE
PLANES DE CONTROL Y SEGUIMIENTO DEL SUELO DE
ACTIVIDADES POTENCIALMENTE CONTAMINANTES.**

PLAN REGIONAL DE SUELOS CONTAMINADOS (2006-2016)

2008



AUTORES

- Fernando Herreros Guerra⁽¹⁾
- Álvaro de Fresno Cerezo⁽¹⁾
- Jaime Laguna Vela⁽¹⁾
- Carlos Perucha Atienza⁽¹⁾
- Roberto Sainz Gutiérrez⁽¹⁾

(1) AG Ambiental S.L.

ÍNDICE

CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN	7
CAPITULO 2 ANTECEDENTES.....	11
2.1 La protección del suelo en el ámbito internacional	11
2.2 La gestión de la contaminación del suelo en la Comunidad de Madrid.....	14
CAPITULO 3 PROCESO DE GESTIÓN DE LOS SUELOS CONTAMINADOS EN LA COMUNIDAD DE MADRID	21
3.1 Identificación.....	23
3.2 Diagnóstico	23
3.2.1 <i>Investigación preliminar: caracterización inicial.....</i>	<i>24</i>
3.2.2 <i>Investigación preliminar: caracterización analítica.....</i>	<i>24</i>
3.2.3 <i>Caracterización detallada</i>	<i>25</i>
3.3 Intervención	27
3.3.1 <i>Caracterización complementaria</i>	<i>27</i>
3.3.2 <i>Proyecto de recuperación.....</i>	<i>28</i>
CAPITULO 4 OBJETIVOS DE LA GUÍA.....	29
CAPITULO 5 GLOSARIO	32
CAPITULO 6 ASPECTOS GENERALES DEL CONTROL Y SEGUIMIENTO DE EMPLAZAMIENTOS CON ACTIVIDADES POTENCIALMENTE CONTAMINANTES.....	44
6.1 Introducción	44
6.2 Objetivos	45
6.3 Modelo Conceptual.....	46
6.4 Red de Control	48
6.4.1 <i>Introducción</i>	<i>48</i>
6.4.2 <i>Objetivos de la red de control y seguimiento.....</i>	<i>49</i>
6.4.3 <i>Tipos de puntos de control.....</i>	<i>50</i>
6.4.4 <i>Mantenimiento y rehabilitación de puntos de control y/o monitoreo.....</i>	<i>68</i>
6.4.5 <i>Reposición o ejecución de nuevos puntos de control.....</i>	<i>70</i>
6.4.6 <i>Abandono definitivo y sellado de pozos no integrados en la red de control y seguimiento.</i>	<i>73</i>
6.5 Proceso de tomas de muestras.....	73
6.5.1 <i>Programa de muestreo</i>	<i>75</i>
6.5.2 <i>Programa analítico.....</i>	<i>90</i>
6.5.3 <i>Programa de garantía de la calidad.....</i>	<i>96</i>
6.6 Tipologías de emplazamientos sometidos a planes de control y seguimiento	98
CAPITULO 7 EMPLAZAMIENTOS EN EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE DESCONTAMINACIÓN	100
7.1 Antecedentes	100

7.2	Objetivos	100
7.3	Condiciones ambientales iniciales	102
7.4	Sistema de descontaminación e instalaciones asociadas	102
7.5	Plan de control y seguimiento.....	103
7.5.1	Diseño red de control. Justificación	103
7.5.2	Programa analítico y niveles objetivos. Justificación.....	106
7.5.3	Periodicidad del muestreo. Justificación.....	108
7.5.4	Informes periódicos de control y seguimiento.....	108
CAPITULO 8 EMPLAZAMIENTOS CON FINALIZACIÓN DE PROYECTOS DESCONTAMINACIÓN		113
8.1	Antecedentes	113
8.2	Objetivos	113
8.3	Condiciones ambientales iniciales.....	114
8.4	Plan de control y seguimiento.....	115
8.4.1	Diseño red de control. Justificación	115
8.4.2	Programa analítico y niveles objetivos. Justificación.....	116
8.4.3	Periodicidad del muestreo. Justificación.....	118
8.4.4	Informes periódicos de control y seguimiento.....	118
CAPITULO 9 EMPLAZAMIENTOS CON INDICIOS DE AFECCIÓN		121
9.1	Antecedentes	121
9.2	Objetivos	121
9.3	Condiciones ambientales iniciales	122
9.4	Plan de control y seguimiento.....	123
9.4.1	Diseño red de control. Justificación	123
9.4.2	Programa analítico y niveles objetivos. Justificación.....	124
9.4.3	Periodicidad del muestreo. Justificación.....	126
9.4.4	Informes periódicos de control y seguimiento.....	126
CAPITULO 10 EMPLAZAMIENTOS CON ELEVADA VULNERABILIDAD.....		130
10.1	Antecedentes	130
10.2	Objetivos	130
10.3	Condiciones ambientales iniciales	130
10.4	Plan de control y seguimiento.....	131
10.4.1	Diseño red de control. Justificación	131
10.4.2	Programa analítico y niveles objetivos. Justificación.....	132
10.4.3	Periodicidad del muestreo. Justificación.....	133
10.4.4	Informes periódicos de control y seguimiento.....	133
CAPITULO 11 BIBLIOGRAFÍA		136
ANEXO 1 DETERMINACIÓN DE LA PERIODICIDAD DEL MUESTREO		142

TABLAS

Tabla 2.1. Principios y objetivos Plan Regional de Suelos Contaminados de la Comunidad de Madrid (2006-2016)	18
Tabla 6.1. Periodicidad muestreo red de control (meses)	78
Tabla 6.2. Selección de parámetro a analizar	91
Tabla 7.1. Muestras de la base de excavación.....	105
Tabla 7.2. Muestras de las paredes de excavación.....	105

ESQUEMAS

Esquema 1. Esquema conceptual de un captador de vapor en zona no saturada ...	58
Esquema 2. Esquema conceptual de un piezómetro de control de las aguas subterráneas	61
Esquema 3. Esquema conceptual de un sistema de control de piezómetros en racimo.....	62
Esquema 4. Esquema conceptual de un sistema de control de piezómetros anidados.....	63

FIGURAS

Figura 2.1. Esquema de gestión de la contaminación de la Comisión Europea	13
Figura 3.1. Esquema general de gestión de los suelos contaminados en la Comunidad de Madrid	22
Figura 6.1. Ejemplo de modelo conceptual.....	46
Figura 6.2. Ejemplo de modelo conceptual modificado.....	47
Figura 6.3. Esquema de puntos y formas de control más comunes	53
Figura 6.4. Entorno del emplazamiento de estudio.....	67
Figura 6.5. Detalle de un perfil litológico transversal de la zona de estudio	67
Figura 6.6. Detalle de la red de dispositivos de control y seguimiento instalados en el emplazamiento.....	68
Figura 7.1. Ejemplo PCS en ejecución proyectos de descontaminación.....	112
Figura 8.1. Ejemplo PCS a la finalización proyectos de descontaminación.....	120
Figura 9.1. Ejemplo PCS en emplazamiento con indicios de afección	129
Figura 10.1. Ejemplo PCS en emplazamientos de alta vulnerabilidad	135

ABREVIATURAS:

AAI	Autorización Ambiental Integrada
ACR	Análisis cuantitativo de riesgos
ASTM	American Society for Testing and Materials (EE.UU.) (Sociedad americana para pruebas y materiales)
BTEX	Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xilenos
COM	Comunicaciones de la Comisión Europea
DIN	Deutsches Institut für Normung (Instituto de Normalización de Alemania)
EPI	Equipos de Protección Individual
ETBE	Etil tert-butil éter
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)
IHOBE	Industria Hondakinentzako Bateando Enularaztegia Ingurumen Jarduketarako Sozietate Publikoa (Sociedad pública de gestión ambiental centralizado de residuos industriales)
IPS	Informe preliminar de situación
IR	Infrared spectrometry (Espectrometría infrarroja)
ISO	International Organization for Standardization (Organización Internacional para la Estandarización)
LNAPL	Light Non-Aqueous Phase Liquid (Líquido en fase no acuosa ligera o Fase libre)
MTBE	Metil tert-butil éter
NGR	Nivel Genérico de Referencia
ORP	Oxidation Reduction Potencial (Potencial de oxido-reducción, comúnmente potencial Redox)
PAH	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (Hidrocarburos policíclicos aromáticos)
PCB	Polychlorinated Byphenyl (Bifenilos policlorados)
PCS	Plan de Control y Seguimiento
PECC	Programa Europeo sobre el Cambio Climático
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PVC	Polyvinyl Chloride (Cloruro de polivinilo)
TPH	Total Petroleum Hydrocarbons (Hidrocarburos totales de petróleo)
UE	Unión Europea
UNE	Normas Europeas-Españolas (AENOR)
US-EPA	United States Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU.)

CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

El suelo, considerado desde la perspectiva de las actividades humanas dirigidas al aprovechamiento de su potencial productivo (agricultura, ganadería, explotación forestal), se ha definido tradicionalmente como “el conjunto de unidades naturales que ocupan las partes de la superficie terrestre que soportan las plantas, y cuyas propiedades se deben a los efectos combinados del clima y de la materia viva sobre la roca madre, en un periodo de tiempo y en un relieve determinado” (Soil Survey Staff, 1951).

Por otro lado, el suelo, como soporte de actividades de carácter urbano, se interpreta más en función de las características y propiedades que condicionan dichas actividades: capacidad portante, erosionabilidad, estabilidad, permeabilidad, facilidad de drenaje, etc. En este caso, el alcance del concepto suelo es más amplio, no limitándose al espesor afectado por las raíces de las plantas, sino incluyendo además todos los materiales no consolidados, meteorizados o alterados de su condición original y situados sobre un lecho rocoso, duro y consolidado.

En el presente documento se entiende por suelo la capa superior de la corteza terrestre, situada entre el lecho rocoso y la superficie, compuesta de partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos. Constituye la interfaz entre la tierra, el aire y el agua, lo que le confiere la capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso.

La importancia del suelo radica en las numerosas funciones que desempeña, tanto ambientales como económicas, sociales y culturales. De acuerdo con el documento de la Comisión de la Unión Europea “Hacia una estrategia temática para la protección del suelo” (COM (2002), 179), las principales funciones del mismo son las siguientes:

- El suelo es fuente de alimentos y producción de biomasa. La agricultura y la silvicultura dependen del suelo como soporte físico, así como para el suministro de agua y nutrientes.
- Constituye uno de los principales factores para la protección del agua y de intercambio de gases con la atmósfera, debido a su capacidad de almacenamiento, filtración, amortiguación y transformación de elementos minerales, agua, materia orgánica y sustancias químicas.
- Constituye el hábitat de numerosos organismos que viven tanto en el suelo como sobre él, desempeñando funciones ecológicas esenciales.

- Como entorno físico, el suelo sirve de base a las actividades humanas y constituye un elemento del paisaje y del patrimonio cultural de la humanidad.
- Es fuente de materias primas.

Algunas de las características que diferencian el suelo de otros recursos son las siguientes:

- El suelo es un recurso prácticamente no renovable, con una cinética de degradación relativamente rápida y, por el contrario, tasas de formación y regeneración extremadamente lentas.
- El suelo tiene una gran capacidad de almacenaje y amortiguación, debida en gran parte a su contenido en materia orgánica. Dicha capacidad está relacionada tanto con el agua, los minerales y los gases como con un gran número de sustancias químicas que pueden acumularse en el suelo. Cuando se superan los umbrales de irreversibilidad de almacenaje y amortiguación de estas sustancias en el suelo, se produce la liberación y distribución de las mismas en otros medios.
- El suelo es un medio vivo con gran biodiversidad. La actividad biológica contribuye a determinar la estructura y fertilidad del suelo y resulta fundamental para que pueda realizar algunas de sus funciones.
- A diferencia del aire y el agua, el suelo es un recurso que está generalmente sujeto a derechos de propiedad.

En el ámbito de la Unión Europea, la degradación del suelo (entendida como la pérdida de la capacidad de realizar las funciones que le son propias) tiene actualmente las siguientes causas principales:

- La erosión: es un fenómeno geológico natural que consiste en el desprendimiento de partículas de suelo por la acción del agua o del viento. Ciertas actividades humanas pueden acelerar las tasas de erosión. Las consecuencias de la erosión son la pérdida de la capacidad del suelo para realizar sus funciones y en último caso su desaparición. La erosión tiene efectos negativos sobre los cursos de agua y sobre los ecosistemas marinos y fluviales.
- La pérdida de materia orgánica: la materia orgánica, producida por la acción lenta de los microorganismos del suelo, es de vital importancia para que pueda mantener sus funciones y resulta un factor determinante de resistencia a la erosión y de fertilidad de los suelos. Las actividades agrícolas y forestales tienen una gran incidencia en la pérdida de materia orgánica del suelo, especialmente las explotaciones de carácter intensivo. La

disminución de la materia orgánica es especialmente preocupante en las regiones mediterráneas.

- La contaminación: la introducción de agentes contaminantes en el suelo por encima de determinados niveles puede originar consecuencias negativas en la cadena alimentaria y por tanto en la salud humana, los ecosistemas y los recursos naturales. La evaluación de sus efectos requiere considerar no sólo su concentración, sino también su comportamiento ambiental y los mecanismos de exposición. Generalmente se distingue entre la contaminación procedente de fuentes puntuales y la causada por fuentes difusas.

La contaminación puntual proviene de fuentes delimitadas como la minería, las instalaciones industriales, los vertederos y otras instalaciones, tanto en funcionamiento como tras su cierre.

La contaminación difusa está relacionada principalmente con la deposición atmosférica, determinadas prácticas agrícolas y el tratamiento inadecuado de lodos de depuradora y aguas residuales.

- El sellado: la cubrición del suelo para la construcción de edificios, carreteras u otros fines reduce la superficie disponible para realizar sus funciones como la absorción de agua de lluvia para su infiltración, modifica los flujos de agua y contribuye a agravar la fragmentación de la biodiversidad. El sellado del suelo es prácticamente irreversible y está muy relacionado con las estrategias de ordenación del territorio.

- La compactación: se produce por la presión mecánica ejercida sobre el suelo como consecuencia del uso de maquinaria pesada y del pastoreo excesivo. La compactación reduce la porosidad del suelo por lo que pierde parcial o totalmente su capacidad de absorción, deteriora la estructura edáfica del mismo, limita el crecimiento de las raíces, la fertilidad, la actividad biológica y la estabilidad. En consecuencia se incrementa el volumen de aguas de escorrentía superficial y por tanto el riesgo de erosión.

- La reducción de la biodiversidad: el suelo es el hábitat de numerosos organismos vivos y, a su vez, constituye la base sobre la que se desarrollan los ecosistemas terrestres. Los microorganismos que habitan el suelo desempeñan un papel fundamental en el mantenimiento de su fertilidad ya que garantizan sus propiedades físicas, químicas y biológicas. La pérdida de biodiversidad del suelo lo hace más vulnerable a la erosión y a otros procesos de degradación.

- La salinización: consiste en la acumulación de sodio, magnesio y calcio en los suelos, provocando una reducción importante de su fertilidad. Suele estar vinculada a los terrenos de regadío, principalmente en zonas de escasas precipitaciones y elevados

niveles de evapotranspiración. En las zonas costeras la salinización puede estar también vinculada a la sobreexplotación de las aguas subterráneas.

- Ciertas catástrofes naturales: las inundaciones y los deslizamientos de tierras están estrechamente relacionados con la gestión de suelos. A gran escala provocan fenómenos de erosión, de contaminación y de pérdida de recursos del suelo, causando daños a infraestructuras y la pérdida de tierras de cultivo. Este tipo de catástrofes naturales se producen con mayor frecuencia en zonas de suelos erosionables, fuertes pendientes e intensas precipitaciones.

Dado que muchas de estas causas se dan simultáneamente en numerosos suelos, la consecución de una política en pro de la sostenibilidad del suelo exige la adopción de una estrategia integrada para su protección. No obstante, para la perspectiva del presente documento resulta de particular interés la contaminación del suelo y en especial la contaminación local o puntual derivada de actividades potencialmente contaminantes del suelo de acuerdo con su definición en el 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.

La incorporación al suelo de agentes contaminantes por encima de su capacidad de amortiguación supone la contaminación del mismo y la posible contaminación de las aguas subterráneas, lo cual puede dar lugar a una limitación de algunas de las funciones de aquél (en particular su uso).

La presencia en el suelo de elementos tóxicos para la salud humana y/o los ecosistemas supone un riesgo que, de ser inaceptable, exige la implantación de medidas correctoras acordes con las características del caso. La acumulación de sustancias tóxicas en el suelo tiene con frecuencia un origen antrópico, pero también puede ocurrir de manera natural.

CAPITULO 2 ANTECEDENTES

2.1 La protección del suelo en el ámbito internacional

Como ya se ha indicado, el suelo constituye un recurso de primer orden que ha de ser protegido puesto que supone el sostén de la actividad humana y de la vida en el planeta. La preocupación explícita por su degradación y conservación por parte de organismos internacionales se remonta a unos 30 años atrás.

La Carta Europea de los Suelos, aprobada por el Consejo de Europa en 1972, y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano (1ª Conferencia del PNUMA, Estocolmo 1972) empiezan a poner de manifiesto la preocupación por la degradación y contaminación del suelo como consecuencia del desarrollo humano.

La Carta Mundial de los Suelos de la FAO (1981) y la Política Mundial del Suelo del PNUMA (1982) persiguen el fomento de la cooperación internacional para el uso racional del recurso suelo y reflejan la preocupación por su degradación. En ellas se establecen los principios de actuación para la explotación de los suelos de forma sostenible y las directrices para la formulación de políticas nacionales.

Por otro lado, la Cumbre de Río de Janeiro de 1992 ha marcado un hito histórico en cuanto al compromiso internacional en el ámbito de la protección del medio ambiente. En el marco de la misma se desarrolló el Convenio sobre la Diversidad Biológica, estableciendo un compromiso de conservación de la diversidad biológica y de la utilización sostenible de sus componentes (entre los que se encuentra el suelo) y de los recursos genéticos.

La importancia de los ecosistemas terrestres queda recogida en la Convención Marco sobre el Cambio Climático de 1992, en la que se reconoce su papel como sumideros de gases de efecto invernadero y se señala que la degradación del suelo y sus cambios de uso inciden negativamente en el aumento global de las emisiones de gases de efecto invernadero. En esa misma línea, el Protocolo de Kioto (1997) promueve el desarrollo sostenible e invita a todas las partes a aplicar políticas y medidas de protección y aumento de los sumideros de gases de efecto invernadero.

En cuanto a las problemáticas específicas de la erosión de los suelos y de la pérdida de suelo agrícola a nivel mundial, la Convención de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (1994) marcó como objetivo prevenir y reducir la degradación del suelo, rehabilitar las zonas que están parcialmente degradadas y recuperar las que se hayan desertificado.

La conciencia de la comunidad internacional respecto a la necesidad de proteger el suelo es cada vez más evidente, como lo ponen de manifiesto las iniciativas y compromisos políticos y legales para la protección de los recursos y del medio ambiente (Nairobi 1997, Malmö 2000, Johannesburgo 2002).

En el ámbito de la Unión Europea (UE), aunque muchas de sus políticas afectan al suelo y algunas de ellas velan por su protección (aún no siendo éste su objetivo principal), todavía no existe legislación europea específica para la protección del mismo. A este respecto las políticas más importantes son, entre otras, las de medio ambiente, agricultura, desarrollo regional, transporte, investigación y desarrollo. Por su relevancia cabe mencionar las Comunicaciones de la Comisión COM (1998) 42, sobre una estrategia comunitaria en materia de biodiversidad, y COM (2002) 88, sobre políticas y medidas de la UE para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero: hacia un Programa Europeo sobre el Cambio Climático (PECC).

También cabe resaltar que el Sexto Programa de Acción Comunitario en Materia de Medio Ambiente (Decisión 1600/2002/CEE), dada la importancia de los suelos y la necesidad de frenar su degradación, instó a la elaboración de una estrategia temática sobre la protección de los suelos («la estrategia»), la cual hace especial hincapié en prevenir la contaminación, la erosión, la desertización, la degradación del suelo, la ocupación de terrenos y los riesgos hidrogeológicos.

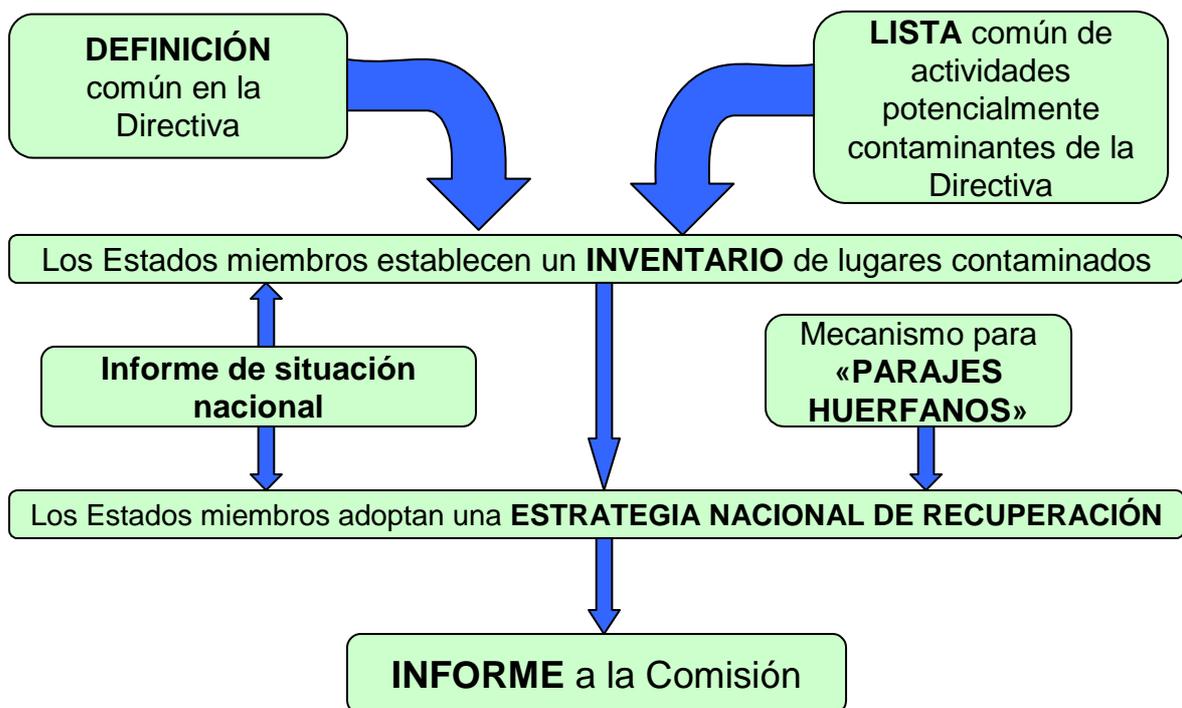
La Comunicación de la Comisión Europea COM (2002) 179, «Hacia una estrategia temática para la protección del suelo», es la primera que aborda de forma específica esta cuestión. La Comisión señalaba las ocho amenazas principales que afectan a los suelos de la Unión Europea: la erosión, la pérdida de materia orgánica, la contaminación, la salinización, la compactación, la pérdida de la biodiversidad del suelo, el sellado, los deslizamientos de tierras y las inundaciones.

La Directiva 2004/35/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de abril de 2004, sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de

daños medioambientales, establece un marco de responsabilidad medioambiental basado en el principio de «quien contamina paga» para la prevención y la reparación de los daños medioambientales, especificando los daños al suelo, es decir, cualquier contaminación del suelo que suponga un riesgo significativo de que se produzcan efectos adversos para la salud humana debidos a la introducción directa o indirecta de sustancias, preparados, organismos o microorganismos en el suelo o el subsuelo. En este sentido obliga a realizar una acción preventiva y una acción reparadora de los daños al suelo.

Con respecto a “la estrategia” que el Sexto Programa de Acción Comunitario en Materia de Medio Ambiente (Decisión 1600/2002/CEE) instó a elaborar, la Comunicación de la Comisión Europea COM (2006) 231, “Estrategia temática para la protección del suelo”, desarrolla la misma con el objetivo de la protección y la utilización sostenible de los suelos, en función de los siguientes principios rectores: Prevención de la degradación del suelo, conservación de sus funciones y restauración del suelo degradado para devolverle un nivel de funcionalidad que corresponda al menos a su utilización actual y prevista, considerando asimismo las repercusiones financieras de la restauración del suelo. En lo que se refiere a la gestión de la contaminación, se prevé un enfoque basado en el siguiente esquema:

Figura 2.1. Esquema de gestión de la contaminación de la Comisión Europea



Esta estrategia se plasma en la Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, COM (2006) 232, por la que se establece un marco para la protección del suelo y se modifica la Directiva 2004/35/CE. En el Consejo de Ministros de medio ambiente de la Unión Europea celebrado el 20 de diciembre de 2007 no se llegó a un acuerdo sobre la nueva directiva, posponiéndose los debates con futuras presidencias.

Por último resaltar que el Séptimo Programa Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico (2007-2013) (Decisión 1982/2006/CE) incluye un capítulo que permite apoyar las actuaciones de investigación sobre la protección y las funciones del suelo.

2.2 La gestión de la contaminación del suelo en la Comunidad de Madrid

Ciñéndose a la problemática específica de la contaminación del suelo, la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos, introduce en el ordenamiento jurídico español el concepto de suelo contaminado, atribuyendo a las Comunidades Autónomas la competencia para declarar, delimitar y hacer un inventario de suelos contaminados.

En el ámbito de la Comunidad de Madrid, la Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional elaboró en 1997 el Inventario de Suelos Potencialmente Contaminados de la Comunidad de Madrid, pretendiendo dotarse de un instrumento de uso interno que permitiese conocer el alcance de la problemática de dichos suelos. Este Inventario constituyó el documento base para desarrollar las necesidades derivadas de la Ley de Residuos.

Además, de conformidad con lo dispuesto en la Ley de Residuos, y en virtud de las competencias asumidas en el Estatuto de Autonomía de la Comunidad de Madrid, el Gobierno de la misma aprobó el Decreto 326/1999, de 18 de noviembre, que regula el régimen jurídico de los suelos contaminados en la Comunidad de Madrid, encomendando a la actual Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio el ejercicio de las competencias en esta materia.

Entre otras cuestiones, este Decreto establece el procedimiento para la declaración de los suelos como contaminados y los efectos derivados de la misma, así como la creación del Inventario Regional de Suelos Contaminados con la categoría de registro público de carácter administrativo.

La política de la Comunidad de Madrid en materia de contaminación del suelo quedó plasmada en el Plan Regional de Actuaciones en materia de Suelos Contaminados de la Comunidad de Madrid (2001-2006), aprobado por el Consejo de Gobierno el 25 de octubre de 2001.

El Plan Regional estableció que la política de suelos contaminados de la Comunidad de Madrid tenía dos objetivos principales: la protección de la salud humana y de los ecosistemas y la protección de los recursos (desarrollo sostenible). El Plan Regional se apoyó en los siguientes principios básicos de gestión de los suelos contaminados:

- La multifuncionalidad o protección del suelo de modo que pueda desempeñar todas sus posibles funciones y usos. Este principio se configuró como global, si bien su aplicación será gradual y la consecución total del mismo sólo se conseguirá a largo plazo.
- La funcionalidad o protección del suelo de modo que pueda desempeñar las funciones correspondientes a su uso actual o previsto en el futuro. Este principio se configuró como particular de cada caso, considerándose viable su aplicación a corto y medio plazo.
- La concienciación, formación e información pública.

Los principales objetivos del Plan Regional fueron los siguientes:

- El establecimiento y aplicación de una política preventiva basada en el criterio de multifuncionalidad y plasmada en el fomento de mejoras orientadas a la prevención de la contaminación del suelo.
- El establecimiento y aplicación de una política correctiva basada en el criterio de funcionalidad a corto y medio plazo y en el de multifuncionalidad a largo plazo. La acción correctiva se dirigirá tanto hacia los casos heredados del pasado como hacia los nuevos que inevitablemente surjan.
- La propuesta y desarrollo de los instrumentos legales, administrativos y económicos que permitiesen la puesta en práctica del Plan.
- El desarrollo del marco técnico necesario para la puesta en práctica del Plan.
- La sensibilización y concienciación social sobre la problemática de los suelos contaminados y su resolución.

Además de las medidas preventivas contempladas en el propio Plan Regional (obligación de informar en la transmisión de terrenos que han soportado actividades potencialmente contaminantes del suelo, obligación de llevar a cabo un control periódico de la calidad del suelo en los terrenos ocupados por dichas actividades, etc.), la aplicación de la Ley

16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación, supuso la puesta en práctica de mecanismos adicionales preventivos de la contaminación del suelo. Así dicha Ley permite, entre otras cuestiones, establecer para las instalaciones objeto de la misma valores límite de emisión de ciertas sustancias contaminantes, fijar prescripciones que garanticen la protección del suelo y de las aguas subterráneas y acreditar la calidad del suelo previa a la concesión de la Autorización Ambiental Integrada (AAI).

Por su parte, la aplicación de la Ley 2/2002, de 19 de junio, de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid, también está permitiendo ejercer una acción preventiva en los terrenos sometidos al procedimiento de Análisis Ambiental (en especial el análisis del planeamiento urbanístico general incluidas sus revisiones y modificaciones). Dicha acción se plasma en la inclusión de informes de caracterización del suelo en los Estudios de Incidencia Ambiental con la doble finalidad de identificar indicios de contaminación del mismo y establecer el denominado *Blanco Ambiental de la Situación Preoperacional*.

La Ley 5/2003, de 20 de marzo, de Residuos de la Comunidad de Madrid incluye varias determinaciones sobre los suelos contaminados, a los cuales dedica su Título VII. Dichas determinaciones se refieren a diversos aspectos de la Declaración de un suelo como contaminado, las operaciones de descontaminación, los informes de situación de las fincas en las que se haya realizado alguna actividad potencialmente contaminante del suelo, la tramitación de planes urbanísticos, la ejecución de desarrollos urbanísticos y la formalización de acuerdos voluntarios y convenios de colaboración para realizar operaciones de recuperación de suelos contaminados.

Con la entrada en vigor del Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios estándares para la declaración de suelos contaminados, la administración cuenta con un nuevo y dinámico instrumento de gestión para conocer el estado de los suelos. Dicha norma contempla los siguientes aspectos principales:

- Establece la relación de actividades susceptibles de causar contaminación en el suelo.
- Establece los criterios y estándares aplicables en la declaración de suelos contaminados.
- Supuestos en que deben presentarse y tipos de informes de situación.
- Publicidad registral de los suelos contaminados.

En relación a este Real Decreto, no se han observado discrepancias con la normativa aplicable en la Comunidad de Madrid que aconsejen mayor regulación o modificación de la existente.

Durante el desarrollo del Plan Regional de Actuaciones en materia de Suelos Contaminados de la Comunidad de Madrid (2001-2006), se han realizado una serie de actuaciones, entre las que destacan:

- La Redacción y edición de las guías temáticas: Investigación de la calidad del suelo, Análisis de riesgos y Tecnologías de recuperación, que son base fundamental para el desarrollo de la presente guía.
- La determinación y publicación mediante la correspondiente Orden en el Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid, de los Niveles Genéricos de Referencia para protección de la salud humana de metales pesados en suelos de la Comunidad de Madrid, que permiten la aplicación directa de la evaluación de los suelos de acuerdo al Real Decreto 9/2005, de 14 de enero.
- La Identificación y caracterización de actividades potencialmente contaminantes de suelos en la Comunidad de Madrid, que facilita la aplicación y seguimiento de los Informes de Situación requeridos por el Real Decreto 9/2005, de 14 de enero.

Mediante acuerdo de 18 de noviembre de 2007 del Consejo de Gobierno (BOCM nº 263 de 5 de noviembre de 2007) se ha aprobado la Estrategia de Residuos de la Comunidad de Madrid, que incluye entre sus planes específicos el Plan Regional de Suelos Contaminados de la Comunidad de Madrid (2006-2016). Este Plan viene a continuar y complementar el anterior con los siguientes principios y objetivos:

Tabla 2.1. Principios y objetivos Plan Regional de Suelos Contaminados de la Comunidad de Madrid (2006-2016)

PRINCIPIOS	OBJETIVOS
Prevención	Evitar la contaminación del suelo y la transmisión de la contaminación a otros medios.
Proximidad y suficiencia	Recuperación de los emplazamientos in situ, evitando los movimientos de suelos contaminados y asegurar la disponibilidad de tecnologías e infraestructuras para su tratamiento.
Quien contamina paga	Internalización de los costes de prevención y en su caso recuperación de los suelos en los costes generales de las actividades económicas potencialmente contaminantes del suelo.

El Plan contempla el Esquema General de Gestión de Suelos Contaminados en la Comunidad de Madrid, que se desarrolla en el siguiente capítulo.

La prevención de la contaminación constituye el eje básico que debe centrar la mayor parte de los esfuerzos de gestión ambiental, entendiendo que la preservación de los suelos en todos sus usos es la base de un desarrollo sostenible. La actuación preventiva y, en general, la protección del suelo, debe orientarse según el principio de multifuncionalidad, es decir, conservar el suelo para que pueda ejercer todas sus funciones.

Toda política preventiva debe basarse inicialmente en la evaluación y seguimiento de las actividades potencialmente contaminantes del suelo y en este sentido se pronuncia el Real Decreto 9/2005, de 14 de enero.

La política preventiva que inspira el mencionado Real Decreto, se basa en la obligación de presentar una serie de informes de situación a la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio y que pueden jugar el papel de indicadores de control:

- Informe preliminar de situación:

- Los titulares de actividades potencialmente contaminadoras del suelo, para cada uno de los suelos en los que se desarrolla dicha actividad, con el alcance y contenido mínimo que se recoge en el Anexo II del Real Decreto 9/2005, de 14 de enero.
- Aquellas empresas que produzcan, manejen o almacenen más de 10 toneladas por año de sustancias incluidas en el Real Decreto 363/1995, o que almacenen combustible para uso propio, según el Real Decreto 1523/1999.
- Otros Informes de situación. Los casos contemplados en el artículo 3 del Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, en los que debe presentarse Informe de Situación del Suelo son además:
 - Establecimiento de una nueva actividad potencialmente contaminante.
 - Ampliación o modificación sustancial de una actividad potencialmente contaminante.
 - Clausura de una actividad potencialmente contaminante.
 - Establecimiento de otra actividad (diferente de las actividades potencialmente contaminantes) en suelo en el que se desarrolló una actividad potencialmente contaminante.
 - Cambio de uso del suelo en el que se desarrolló una actividad potencialmente contaminante.
 - Actividades potencialmente contaminantes afectadas por la Ley de prevención y control integrados de la contaminación.

Reducir las afecciones que produce una actividad sobre el suelo en que se desarrolla implica la adopción de medidas organizativas y operativas que permitan garantizar niveles de calidad aceptables. Prevenir y evitar la contaminación del suelo implica:

- Modificación de los procesos productivos:
 - De las materias primas y productos empleados.
 - Buenas prácticas operativas: mejora de los procedimientos de operación y mantenimiento.
 - Uso de tecnologías limpias: mejores técnicas disponibles (cambios de los equipos).
- Gestión de almacén:
 - Elección de sistemas de almacenamiento que aseguren y permitan verificar la estanqueidad.

- Buenas prácticas operativas: manipulación de productos y materias primas.
- Implementación de planes de seguimiento y control del subsuelo.

El Plan mantiene como objetivos a alcanzar:

- Protección de la salud de las personas.
- Protección de los ecosistemas.
- Multifuncionalidad y prevención:
 - La multifuncionalidad o protección de cualquier uso del suelo como principio básico y de aplicación a largo plazo.
 - La funcionalidad o protección en función del uso real o planificado del suelo (caso por caso) como principio realista actual y de aplicación a corto y medio plazo.
- Prioridad a los tratamientos in-situ frente a tratamientos “ex situ”.

Para la consecución de los objetivos de prevención y corrección de las afecciones en los suelos de la Comunidad de Madrid, el Plan establece las siguientes actuaciones a desarrollar para el periodo 2006-2016:

- Impulsar iniciativas en colaboración con la cámara de comercio, en el marco del pacto de la empresa madrileña por el medio ambiente (PEMMA).
- Colaboración con responsables de ejecutar trabajos de descontaminación de suelos de titularidad pública.
- Acuerdos voluntarios.
- Fomento de la Investigación y Desarrollo.
- Desarrollo de un sistema de información relativo a la gestión de la contaminación de suelos.
- Desarrollo del marco técnico.
- Comunicación y sensibilización.

CAPITULO 3 PROCESO DE GESTIÓN DE LOS SUELOS CONTAMINADOS EN LA COMUNIDAD DE MADRID

Teniendo en cuenta los objetivos del Plan Regional de Suelos Contaminados (2006-2016), el marco normativo y la experiencia acumulada en los últimos años, la gestión de los suelos que pueden albergar algún problema de contaminación en la Comunidad de Madrid se está abordando de acuerdo con un proceso que consta de varias etapas.

La estructuración del proceso de gestión en etapas pretende, por una parte, optimizar los recursos asignados a la obtención de los datos que soportan las decisiones en cada caso y por otra parte, flexibilizar el proceso para adaptarlo a la variada casuística que obliga a investigar y diagnosticar la contaminación del suelo. De este modo, los resultados de cada una de las etapas determinan la necesidad o no de pasar a la siguiente y en caso necesario, la orientación de los trabajos a realizar. En cualquier caso, las decisiones deben estar justificadas técnica, económica y ambientalmente a lo largo de todo el proceso.

El esquema adjunto sintetiza la secuencia que, en un caso genérico, sigue la gestión de un suelo en el que existen posibilidades de contaminación.

El conjunto del proceso consta de tres grandes etapas:

- **Identificación:** en esta etapa se incluyen todos los trabajos que dan lugar a la identificación de un emplazamiento como merecedor de ser diagnosticado en lo relativo a la presencia de contaminación en su suelo.
- **Diagnóstico:** esta etapa se inicia cuando se toma la decisión de analizar la problemática de un emplazamiento previamente identificado. En ella se pretende obtener los datos necesarios para decidir si es o no preciso llevar a cabo alguna actuación en el emplazamiento y en caso afirmativo, el tipo de actuación.
- **Intervención:** esta etapa se inicia cuando a la vista de los resultados del diagnóstico se concluye que es necesario poner en práctica actuaciones de recuperación y/o control y seguimiento de un emplazamiento. En ella se procede, en primer lugar, a definir en detalle las actuaciones y seguidamente a ponerlas en práctica.

ESQUEMA GENERAL DE GESTIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS EN LA COMUNIDAD DE MADRID

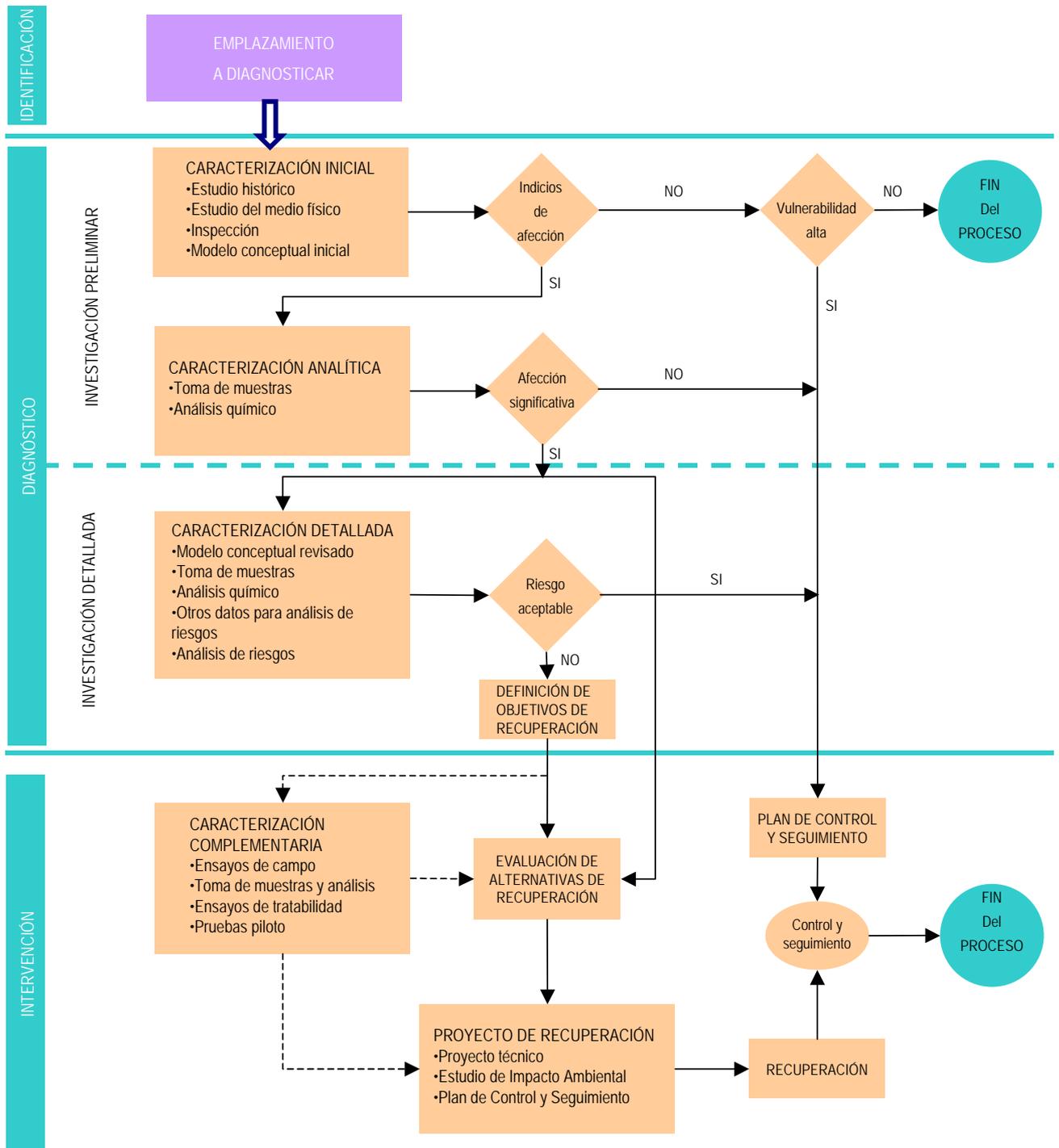


Figura 3.1. Esquema general de gestión de los suelos contaminados en la Comunidad de Madrid

A continuación se describen las principales tareas a ejecutar en cada una de las etapas antes mencionadas y los criterios a aplicar para la toma de decisiones.

3.1 Identificación

La casuística que puede dar lugar al inicio del proceso de gestión de un emplazamiento por razones de una posible contaminación de su suelo es diversa. Desde el punto de vista de las posibilidades de intervención del Órgano Ambiental de la Comunidad de Madrid, la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio, cabe diferenciar dos tipos de situaciones:

1. La Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio interviene al hilo de alguno de los procedimientos previstos por la legislación vigente en caso de:

- Cambios de uso del suelo.
- Clausura de actividades.
- Nuevas instalaciones o modificaciones sustanciales de las existentes.
- Actuaciones propias de vigilancia control.
- Valoración de informes preliminares y periódicos de situación.

2. La Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio, interviene al tener conocimiento, por otros cauces, de indicios de afección a la calidad de los suelos.

3.2 Diagnóstico

Una vez concluida la identificación, se procede a la fase de diagnóstico en la que se pretende evaluar el grado de afección a la calidad del suelo por una actividad u otros hechos concretos.

Independientemente de la casuística que justifique la conveniencia de llevar a cabo el diagnóstico de un emplazamiento, el desarrollo del mismo se aborda en dos fases: las denominadas Investigación Preliminar e Investigación Detallada.

- Investigación preliminar para concluir si existe o no afección a la calidad del suelo.
- Investigación detallada para concluir si los niveles de riesgo son o no aceptables.

3.2.1 Investigación preliminar: caracterización inicial

La Investigación Preliminar se inicia con la Caracterización Inicial mediante los siguientes trabajos:

- Estudio histórico del emplazamiento.
- Estudio del medio físico en el que se encuentra.
- Inspección del emplazamiento.

La información recopilada durante estas labores debe dar lugar a la elaboración del modelo conceptual inicial, en el que se reflejan las primeras hipótesis acerca de la problemática del emplazamiento, estructuradas desde una perspectiva de análisis de riesgos, es decir, incidiendo en las posibles causas y focos de contaminación del suelo, los contaminantes significativos presentes, los mecanismos de migración de los mismos y los receptores que pueden estar expuestos a la contaminación a través de una o más vías.

La formulación del modelo conceptual inicial debe permitir valorar si existen o no indicios de afección de la calidad del suelo. En general, si se concluye que no existen indicios de afección, se dará por finalizado el proceso, no requiriéndose actuaciones posteriores. No obstante, la ausencia de indicios de afección en terrenos sometidos al procedimiento de Análisis Ambiental del planeamiento urbanístico general no exime de llevar a cabo en los mismos una caracterización analítica con el fin de establecer el denominado *Blanco Ambiental de la Situación Preoperacional*. Lo mismo cabe decir para aquellos emplazamientos que soportan o van a soportar actividades potencialmente contaminantes del suelo sometidas a la Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control Integrado de la Contaminación (Autorización Ambiental Integrada), cuyos estudios de calidad del suelo deben incluir siempre la caracterización analítica del mismo.

Por otro lado, en aquellos emplazamientos situados sobre acuíferos de vulnerabilidad alta, a criterio de la Comunidad de Madrid, se podrá requerir presentar un Plan de Control y Seguimiento para contar con instrumentos que permitan la protección efectiva de dicho acuífero por medio de la prevención.

3.2.2 Investigación preliminar: caracterización analítica

Cuando de la formulación del modelo conceptual se concluya que existen indicios de afección a la calidad del suelo, será necesario proceder a la caracterización analítica

cuyo objeto es, mediante un programa sistemático de toma de muestras y análisis sobre los medios receptores de la afección (suelo, aguas subterráneas, aguas superficiales, etc.), determinar si existe o no una afección significativa a alguno de los medios analizados.

Se considera que existe afección significativa cuando se superan los correspondientes Niveles Genéricos de Referencia (NGR) establecidos en el Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, y/o los NGR para metales pesados en suelos establecidos mediante ordenes de la Comunidad de Madrid.

Si los resultados de esta investigación preliminar indican que existe una afección significativa de la calidad del suelo, se procederá a acometer una investigación detallada, cuyos resultados determinarán si es necesario poner en práctica medidas de recuperación y/o de control y seguimiento del emplazamiento.

Cuando se concluye que la afección no es significativa, no será necesario continuar las actuaciones salvo, que por existir focos activos, evidencias de migración de contaminantes a otros medios, etc., sea recomendable la elaboración y ejecución de un Plan de Control y Seguimiento.

3.2.3 Caracterización detallada

La investigación detallada del emplazamiento se iniciará con la revisión del modelo conceptual inicial a la luz de todos los datos obtenidos durante las etapas de la investigación preliminar. El modelo conceptual revisado debe constituir la base sobre la que diseñar el resto de los trabajos: estrategia de muestreo y análisis químico de los medios afectados, y la obtención de otros datos para elaborar el análisis de riesgos (parámetros determinantes de la distribución de los contaminantes en distintos medios y de la migración de aquellos a través de los mismos, parámetros que caracterizan la exposición de los receptores potenciales, etc.).

El análisis de riesgos es la herramienta clave para la toma de decisiones sobre las actuaciones a desarrollar. Es necesario valorar el riesgo que la posible contaminación supone para la salud humana y en su caso, los ecosistemas y en general el medio ambiente, de acuerdo con las características específicas del emplazamiento, es decir, la probabilidad de que los contaminantes presentes en el suelo entren en contacto con los receptores y provoquen efectos adversos.

El proceso de análisis de riesgos para la salud humana y los ecosistemas consta de las siguientes etapas metodológicas:

- Elaboración de un modelo conceptual.
- Análisis de la toxicidad.
- Análisis de la exposición.
- Caracterización del riesgo.
- Análisis de incertidumbres y conclusiones.

El punto de partida de cualquier análisis de riesgos consiste en la elaboración de un modelo conceptual del emplazamiento y su entorno, que esquematice la situación en términos de los factores fundamentales de la cadena de riesgo: focos de contaminación, contaminantes implicados y su distribución en los medios, mecanismos de movilización, vías de exposición y receptores potenciales.

El análisis de la toxicidad tiene por objeto identificar el peligro que supone cada contaminante para las poblaciones expuestas y establecer los valores dosis-respuesta para cada binomio agente-receptor.

El análisis de la exposición tiene por objeto evaluar la magnitud de las exposiciones a los contaminantes por parte de los receptores potenciales en función de sus respectivos patrones de actividad, interacciones ecológicas, etc.

La caracterización del riesgo pretende cuantificar los niveles de riesgo a que están sometidos los receptores potenciales y establecer su alcance y significado.

Por último, el análisis de incertidumbres va dirigido a identificar y evaluar los aspectos que relacionados con las hipótesis asumidas en las etapas anteriores, introducen incertidumbre en la validez de los resultados del análisis de riesgos.

El análisis de riesgos debe contemplar no sólo la situación en el momento de realizarlo, sino también la situación futura prevista que pueda diferir de la inicial bien por la evolución de la distribución y tipología de los contaminantes, bien por los cambios en las condiciones de exposición de alguno de los potenciales receptores, como consecuencia de cambios de los usos del suelo o de otros recursos relevantes.

Si del análisis de riesgos se concluye que los niveles de riesgo son aceptables, no será preciso acometer actuaciones de recuperación del emplazamiento aunque sí se elaborará y ejecutará un plan de control y seguimiento. Si por el contrario los niveles de riesgo no son aceptables será precisa la intervención, es decir, se acometerán actuaciones de recuperación del emplazamiento.

3.3 Intervención

3.3.1 Caracterización complementaria

La definición detallada de las medidas de recuperación ha de ir precedida de una evaluación de las alternativas disponibles para alcanzar los objetivos preestablecidos. En algunos casos, la evaluación de ciertas soluciones de recuperación requiere obtener datos del emplazamiento que no eran cruciales para el diagnóstico pero sí lo son para garantizar la aplicabilidad y viabilidad de determinadas tecnologías. En tales casos, se acometerá una Caracterización Complementaria, la cual puede incluir ensayos de campo, toma de muestras y análisis, ensayos de tratabilidad en laboratorio, pruebas piloto de tratamiento, etc.

En el estudio de alternativas de recuperación se tendrá muy en cuenta lo establecido en el artículo 7 del Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, en lo relativo a:

- El alcance y ejecución de las actuaciones de recuperación será tal que garantice que la contaminación remanente, si la hubiera, se traduzca en niveles de riesgo aceptables de acuerdo con el uso del suelo.
- La recuperación de un suelo contaminado se llevará a cabo aplicando las mejores técnicas disponibles en función de las características de cada caso. Las actuaciones de recuperación deben garantizar que materializan soluciones permanentes, priorizando, en la medida de lo posible, las técnicas de tratamiento in situ que eviten la generación, traslado y eliminación de residuos.
- Siempre que sea posible, la recuperación se orientará a eliminar los focos de contaminación y a reducir la concentración de los contaminantes en el suelo. En el caso de que por razones justificadas de carácter técnico, económico o medioambiental no sea posible esa recuperación, se podrán aceptar soluciones de recuperación tendentes a reducir la exposición, siempre que incluyan medidas de contención o confinamiento de los suelos afectados.

3.3.2 Proyecto de recuperación

Una vez seleccionada la alternativa de recuperación que se considera óptima para las condiciones del emplazamiento y demostrada su viabilidad técnica, económica y ambiental, sus características deben documentarse en el denominado Proyecto de Recuperación. El Proyecto de Recuperación consta, como mínimo, de un Proyecto Técnico que describe los niveles objetivo de calidad a alcanzar, seguimiento de las actuaciones, así como las obras, instalaciones, condiciones de operación, medidas de seguridad, plazos y costes previstos para el conjunto de actuaciones de recuperación.

Por otra parte, de acuerdo con la Ley 2/2002, de 19 de junio, de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid, los proyectos de descontaminación de suelos se encuadran en las actividades a estudiar caso por caso por el órgano ambiental de la Comunidad de Madrid con el fin de determinar el procedimiento de evaluación ambiental aplicable. Cuando se decida que sí deben someterse, el Proyecto de Recuperación incluirá, además del Proyecto Técnico, el preceptivo Estudio de Impacto Ambiental o Memoria Ambiental, en función de que el procedimiento aplicable sea el de Evaluación de Impacto Ambiental o el de Evaluación Ambiental de Actividades, respectivamente.

El proyecto también incluirá el Plan de Control y Seguimiento, que permitirá evaluar la influencia de las actividades de recuperación en las condiciones de riesgo, así como prevenir nuevas situaciones no contempladas inicialmente.

Aunque no tienen un reflejo explícito en el esquema, es frecuente acometer actuaciones de emergencia en un emplazamiento a lo largo de su diagnóstico, con el fin de paliar situaciones de riesgo evidente y/o inmediato (fuga de productos de sus recintos de contención, presencia de condiciones explosivas en conducciones, migración de volátiles o gases a entornos habitados, etc.). Tales actuaciones constituyen de hecho medidas de recuperación, si bien normalmente no son suficientes para resolver el problema en su totalidad, por lo que requieren complementarse con otras actuaciones diseñadas una vez finalizado el diagnóstico.

En todo caso, siempre que se lleven a cabo actuaciones de emergencia, sus efectos deben reflejarse en el modelo conceptual, con el fin de que el diagnóstico y el diseño de las actuaciones complementarias de recuperación y/o control y seguimiento se ajusten a las condiciones reales del caso.

CAPITULO 4 OBJETIVOS DE LA GUÍA

El Plan Regional de Suelos Contaminados (2006-2016) incluye una serie de Actuaciones a desarrollar, entre las que se encuentra el Desarrollo del Marco Técnico, cuya finalidad es elaborar una serie de estudios que permitan establecer una base técnica homogénea para la correcta gestión de aquéllos en la Comunidad de Madrid.

Dentro de dicho Programa se desarrolla la presente guía que continuando con las ya publicadas y complementa el desarrollo de la Gestión de Suelos Contaminados en la Comunidad de Madrid.:

- Guía de Investigación de la Calidad del Suelo.
- Guía de Análisis de Riesgos para la Salud Humana y los Ecosistemas.
- Guía de Tecnologías de Recuperación de Suelos Contaminados.

De acuerdo al “Esquema general de gestión de los suelos contaminados en la Comunidad de Madrid”, podrá requerirse la elaboración de un Plan de Control y Seguimiento en las siguientes circunstancias:

- a) Cuando durante la caracterización analítica se han detectado indicios de afección aunque ésta no sea significativa (valores por debajo de los Niveles Genéricos de Referencia).
- b) Cuando tras la caracterización analítica (parte de la Investigación Preliminar), se haya detectado una afección significativa (se superan los Niveles Genéricos de Referencia y/o la concentración de hidrocarburos totales de petróleo sea superior a 50 mg/kg) y mediante el Análisis Cuantitativo de Riesgos (de la Caracterización Detallada según el R.D. 9/2005) se ha determinado que el Riesgo es aceptable.
- c) Cuando como en el caso anterior, existe una afección significativa y sin embargo se determina que el Riesgo es inaceptable, y deben realizarse acciones de recuperación.

Adicionalmente, podrá requerirse dicho plan en los siguientes supuestos:

- a) A la finalización de los Proyectos de Recuperación de la calidad del suelo
- b) En emplazamientos sin indicios de afección pero que por la alta vulnerabilidad del medio (p.e. nivel de agua subterránea muy próximo a la superficie, numerosos

receptores, etc.), se considere necesaria la “detección rápida” de procesos de contaminación.

Además de los criterios técnicos descritos anteriormente y que justifican por si solos la ejecución de Planes de Control y Seguimiento, desde la entrada en vigor del 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, existe base legal para su requerimiento ya que los titulares de actividades potencialmente contaminantes están obligados a remitir periódicamente un informe de situación, cuyo contenido y periodicidad son determinados por el órgano competente de la Comunidad Autónoma.

El objetivo primordial de los Planes de Control y Seguimiento es la prevención de potenciales riesgos a las personas y al medio ambiente por medio de la detección temprana de procesos contaminantes al suelo y agua subterránea.

Los objetivos de los Planes de Control y Seguimiento son:

- Conocer la evolución de los contaminantes en el medio y en su caso, definir focos activos de contaminación y proceder a su eliminación.
- Detección rápida de procesos de contaminación.
- Evaluar trabajos de limpieza y recuperación.
- Establecer la eficacia de los trabajos de descontaminación en el tiempo.

Por medio de este sistema de prevención podremos actuar con la celeridad suficiente, para o bien eliminar totalmente el riesgo o al menos limitarlo espacialmente a la zona de control.

Además del riesgo, es evidente que este sistema permitirá reducir de forma notable los costes asociados a las labores de recuperación así como de las responsabilidades legales.

Los objetivos fundamentales de la presente guía son:

- Servir de referencia práctica para:
 - El diseño de los Planes de Control y Seguimiento.
 - El desarrollo de las labores de campo contempladas en los mismos.
 - La redacción de los Informes Periódicos de Control y Seguimiento.

- Contribuir a la concienciación pública sobre la problemática de los suelos contaminados y su resolución.

CAPITULO 5 GLOSARIO

Para facilitar la comprensión y utilización de la presente guía, a continuación se exponen las definiciones adoptadas para algunos términos que aparecen en la misma:

Absorción: Fenómeno químico por el que un compuesto se incorpora a la estructura interna de las partículas sólidas del suelo.

Actividades Potencialmente Contaminantes del suelo: Aquellas actividades de tipo industrial o comercial en las que, ya sea por el manejo de sustancias peligrosas, ya sea por la generación de residuos, pueden contaminar el suelo. A los efectos del Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, tendrán consideración de tales las incluidas en los epígrafes de la Clasificación Nacional de Actividades Económicas según el Real Decreto 1560/1992, de 18 de diciembre, por el que se aprueba la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE-93), modificado por el Real Decreto 330/2003, de 14 de marzo, mencionadas en el anexo I, o en alguno de los supuestos del artículo 3.2.(4)

Acuífero: Formación o cuerpo geológico permeable capaz de almacenar y transmitir agua en cantidades aprovechables.

Acuífero libre: Acuífero en el que el límite superior de la zona saturada se encuentra a presión atmosférica.

Acuífero confinado: Acuífero separado de la superficie por una formación geológica de baja permeabilidad y en el que la zona saturada se encuentra sometida a presiones superiores a la atmosférica.

Adsorción: Fenómeno físico por el que un compuesto presente en fase líquida o gaseosa queda retenido en la superficie de las partículas sólidas del suelo.

Afección: Cualquier alteración de la calidad natural del suelo originada por acciones antrópicas.

Afección significativa: Afección de la calidad del suelo consistente en la presencia de uno o más contaminantes en concentraciones superiores a los Niveles Genéricos de Referencia.

Aguas subterráneas: Todas aquellas aguas presentes en los intersticios o huecos bajo la superficie del terreno, a una presión igual o superior a la atmosférica.

Aguas superficiales: Todas aquellas aguas continentales que, independientemente de su origen, discurren o se localizan sobre la superficie terrestre.

Aire: Medio compuesto por la fracción gaseosa de la Tierra no incluida en el suelo ni en las aguas. En términos prácticos, puede asimilarse al conjunto del aire ambiente y al aire interior de los edificios (1).

Aire intersticial del suelo: Fase gaseosa que se encuentra ocupando parte de los poros del suelo de la zona no saturada. En zonas no afectadas por la contaminación, está generalmente constituido por una mezcla de gases atmosféricos tales como el oxígeno y nitrógeno y otros, como el dióxido de carbono, producidos por actividades metabólicas de los organismos del suelo.

Alarma Temprana: Aviso de una situación de potencial riesgo a un receptor, con una antelación suficiente sobre la fecha estimada del inicio de la exposición a las concentraciones que generan riesgo, que permita el implementar medidas de recuperación para controlar el potencial peligro. Normalmente se considera suficiente un plazo de antelación de 6 meses.

Alteración remanente: Alteración de la calidad natural del suelo debida a los contaminantes que permanecen en el mismo tras realizar acciones de recuperación y que estarán presentes en concentraciones inferiores a los niveles objetivo.

Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR): Análisis de riesgos en que se determina la probabilidad cuantitativa de que se produzca un daño (tóxico o carcinógeno) en individuos o una población dada, en función de las concentraciones de contaminantes y las condiciones específicas definidas en el Modelo Conceptual, de forma que se pueden definir las concentraciones de contaminante, que en dichas condiciones no supera un valor de probabilidad considerado inaceptable.

Análisis de incertidumbre: Etapa del análisis de riesgos cuyo objeto es identificar y evaluar los aspectos clave que afectan a la confianza y validez de los resultados obtenidos.

Análisis de la exposición: Etapa del análisis de riesgos en la que se evalúa la magnitud de las exposiciones para los distintos receptores y escenarios considerados.

Análisis de la toxicidad: Etapa del análisis de riesgos en la que se identifican los peligros que suponen cada uno de los contaminantes para las poblaciones expuestas y se establecen los valores dosis-respuesta para cada uno de los binomios agente-receptor.

Análisis de riesgos: Proceso de evaluación de la contaminación del suelo cuyo objetivo es determinar el riesgo que la misma supone para los objetos a proteger (poblaciones humanas, ecosistemas u otros recursos), de acuerdo con las características específicas del caso.

Análito: Es el componente de una muestra cuya concentración o presencia se desea conocer mediante análisis.

Atenuación: Reducción de la concentración de un contaminante en el medio a través de procesos biológicos, químicos y físicos.

Autorización Ambiental Integrada: Resolución del órgano competente en materia de medio ambiente por la que se permite, a los solos efectos de la protección del medio ambiente y de la salud de las personas, explotar la totalidad o parte de una instalación, bajo determinadas condiciones destinadas a garantizar que la misma cumple el objeto y las disposiciones de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

Biodegradación: Proceso de transformación de un compuesto químico por la acción de microorganismos o plantas.

Biota: Componente biológico del ecosistema constituido por el conjunto de seres vivos que viven en un territorio.

Biotopo: Componente abiótico o físico del ecosistema constituido por el espacio en el que vive un conjunto de seres vivos (biota).

Blanco Ambiental de la Situación Preoperacional: Conjunto de parámetros medibles que definen la calidad previa del suelo en el ámbito territorial donde se quiere desarrollar un proyecto o implantar una actividad.

Cadena de custodia: Conjunto de medidas que deben adoptarse para preservar la identidad e integridad de las muestras, desde el momento de su toma hasta el de análisis y que permitirán documentar la trazabilidad y evaluar incertidumbres asociadas al transporte.

Cadena alimentaria: Es la corriente de energía y nutrientes que se establece entre las distintas especies de un ecosistema en relación con su nutrición.

Calidad del suelo: Conjunto de propiedades del suelo relativas a sus procesos internos y a su estabilidad o fragilidad frente a agentes de degradación o contaminación que condicionan su uso.

Caracterización: Todo trabajo orientado a la obtención de datos relevantes para establecer el diagnóstico de la contaminación del suelo de un emplazamiento.

Caracterización Inicial: engloba todas las labores de recopilación de información básica del emplazamiento que servirán para determinar si existen indicios fundados de afección al medio.

Caracterización Analítica: en la que se llevará a cabo la toma de muestras, análisis e interpretación de los resultados obtenidos, para la definición de la calidad del medio (2).

Coefficiente de almacenamiento: Volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical del acuífero de sección igual a la unidad y altura igual a la del acuífero saturado si se produce un descenso unidad del nivel piezométrico.

Caracterización del riesgo: Etapa del análisis de riesgos que tiene por objeto cuantificar los niveles de riesgo para los receptores y escenarios considerados.

Concentración de exposición: Concentración de un contaminante en el medio de contacto y punto de exposición correspondiente a un escenario dado.

Conductividad hidráulica: En hidrogeología, coeficiente que define el caudal de agua que atraviesa una sección unitaria del acuífero bajo un gradiente hidráulico unitario a una temperatura dada.

Contacto dérmico: Vía de exposición en la que los contaminantes son absorbidos a través de la piel.

Compuestos Volátiles: Su definición depende del método de muestreo y análisis, pero en general aquellos con temperatura de ebullición inferior a 100°C y que se evaporan con facilidad a una temperatura de 20°C.

Compuestos Semivolátiles: Su definición depende del método de muestreo y análisis, pero en general aquellos con temperatura de ebullición superior a 100°C pero que a 20°C pueden generar vapores.

Contaminación del suelo: Introducción de contaminantes en el suelo por encima de los niveles que producen consecuencias negativas en la salud humana, los ecosistemas o los recursos naturales.

Contaminante: Materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, derivados químicos o biológicos que al incorporarse y actuar en el suelo alteran o modifican negativamente sus características, comportando un riesgo para la salud humana, los ecosistemas o los recursos naturales.

Control y seguimiento ambiental: Conjunto de actuaciones que tienen por objeto controlar los elementos determinantes de los riesgos derivados de la contaminación del suelo, sin ejercer ninguna acción correctora directa sobre los mismos.

Criterios: procedimientos para la valoración de los indicios racionales que permiten presuponer o descartar la existencia de contaminación en el suelo y, en el caso de que existiesen evidencias analíticas de tal contaminación, los niveles máximos de riesgo admisibles asociado a éstas. (4)

Curso de agua efluente o ganador: Curso de agua superficial que drena las aguas de un acuífero en contacto.

Curso de agua influente o perdedor: Curso de agua superficial cuyas aguas recargan a un acuífero en contacto.

Degradabilidad: Capacidad de un compuesto para descomponerse en otros más sencillos o en sus elementos integrantes por acción de factores tanto bióticos como abióticos.

Descarga: Volumen de agua que sale de un acuífero por medios naturales durante un período de tiempo determinado.

Depuración: Conjunto de actuaciones destinadas a reducir la concentración de contaminantes en un efluente líquido o gaseoso.

Descontaminación: Actuación de recuperación orientada a disminuir las concentraciones de los contaminantes implicados hasta niveles acordes con los niveles objetivos establecidos en el análisis cuantitativo de riesgos.

Diagnóstico de la contaminación del suelo: Proceso de evaluación de la contaminación del suelo de un emplazamiento tendente a establecer el alcance de la misma y a evaluar los riesgos que comporta para la salud humana y/o los ecosistemas.

Dirección de flujo: En el ámbito de la hidrología subterránea, corresponde a la dirección preferente de circulación en el plano horizontal de las aguas subterráneas en un acuífero.

Dosis: Magnitud que cuantifica la exposición a una sustancia en términos de masa por unidad de peso corporal y tiempo.

Ecosistema: Cualquier unidad natural que incluya todos los organismos que conviven en un área determinada, los cuales interactúan con el medio abiótico que les rodea, creando un flujo de energía e información así como un ciclo de materia.

Emisión: Conjunto de procesos que rigen la liberación de los contaminantes en el foco.

Emplazamiento: Ámbito territorial en el que se ubica uno o varios focos de contaminación del suelo. Por extensión, también se puede considerar como el ámbito territorial en el que se ha constatado la presencia de contaminación del suelo debida a una determinada causa o actividad.

Exposición: Situación en la que una sustancia se encuentra disponible para su absorción por parte de un receptor a través de una o varias vías.

Estándares: el conjunto de niveles genéricos de referencia de los contaminantes de relevancia para un suelo. Éstos se establecen atendiendo a la protección de la salud humana o, en su caso, a la protección de los ecosistemas. (4)

Fase libre o Fase líquida no acuosa (NAPL): Líquido inmisible en agua que en procesos de contaminación de aguas subterráneas constituye una capa diferenciada del agua.

Fase líquida no acuosa ligera (LNAPL): Líquido inmisible en agua de menor densidad que ella y que, por tanto, en procesos de contaminación de aguas subterráneas se presenta flotando sobre el nivel freático.

Fase líquida no acuosa pesada (DNAPL): Líquido inmisible en agua de mayor densidad que ella y que, por tanto, en procesos de contaminación de aguas subterráneas tiende a hundirse en la zona saturada y a acumularse en la base del acuífero.

Foco: Causa original de la contaminación presente en uno o varios medios.

Fuente de la afección/contaminación: Ámbito físico en el que se localizan concentraciones de contaminantes en el suelo susceptibles de afectar a otras zonas por su movilización.

Gradiente hidráulico: Diferencia entre el potencial hidráulico de dos puntos separados una distancia unitaria.

Hidrocarburos Totales del Petróleo: El término HTP corresponde a una medida de los compuestos de Hidrógeno y Carbono provenientes del petróleo, que se solubilizan en ciertos solventes y son detectados por ciertos métodos analíticos (infrarrojo, gravimetría, cromatografía gaseosa). Muchos compuestos, diferentes a los hidrocarburos del petróleo (cera de las plantas, materia húmica del suelo, grasa animal, etc.) pueden ser medidos como HTP. Además la misma muestra analizada por diferentes métodos para HTP producirá diferentes concentraciones debido a diferencias en el tipo de solvente, método de extracción, método de detección, y estándar de cuantificación. La definición de HTP depende del método analítico usado para su determinación, ya que la medida de HTP es la concentración total de los hidrocarburos extraídos y medidos por un método particular.

(3)

Incertidumbre: “Parámetro, asociado al resultado de una medida, que caracteriza el intervalo de valores que pueden ser razonablemente atribuidos al mensurando” (Vocabulario de Metrología Internacional, VIM [BIPM, 1993]).

Informe Preliminar de Situación: Informe requerido de acuerdo al Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, a los titulares de las actividades potencialmente contaminantes, con el alcance y contenido definido en el Anexo II del mismo. (4)

Ingestión: Vía de exposición en la que los contaminantes son absorbidos a través del tracto intestinal.

Inhalación: Vía de exposición en la que los contaminantes son absorbidos a través del tracto respiratorio.

Inmisión: Transferencia de contaminantes de la atmósfera a un "receptor". Se entiende por inmisión la acción opuesta a la emisión.

Intervención: Etapa del proceso de gestión de un emplazamiento en la que, partiendo del diagnóstico de la contaminación del suelo, se definen y ponen en práctica las actuaciones oportunas de recuperación y/o control y seguimiento.

Investigación de la contaminación del suelo: Conjunto de tareas de caracterización y evaluación de datos sobre la contaminación del suelo de un emplazamiento que permiten establecer el diagnóstico de la misma.

Investigación Preliminar: 1ª fase del diagnóstico de un emplazamiento, encaminada a detectar y confirmar indicios o afección al suelo. Incluye las tareas de Caracterización Inicial y Caracterización Analítica.

Isopiezas: Son la proyección sobre el plano horizontal de las líneas equipotenciales de un acuífero. En un acuífero libre, representan la superficie del mismo.

Isopacas: Representación en el plano horizontal de las líneas que unen puntos de igual espesor de estratos o capas de NAPL.

Isoconcentraciones: Representación en el plano horizontal de las líneas que unen puntos de igual concentración de un compuesto analizado en un determinado medio.

Manantial: Fuente de origen natural que resulta del afloramiento en superficie de aguas subterráneas, produciéndose normalmente en el contacto en la superficie del terreno entre una formación permeable y otra impermeable.

Matriz: En referencia a muestras ambientales, es el soporte físico en el que se encuentra la muestra (sólido, líquido o gaseoso).

Medidas correctoras: Conjunto de actividades desarrolladas con el objetivo de atenuar un efecto adverso derivado de la contaminación del suelo.

Medio: Cada uno de los sistemas naturales que conforman el medio ambiente: suelo, agua subterránea, agua superficial, aire y biota, incluyendo las relaciones que existen entre ellos. (5)

Medio de contacto: En análisis de riesgos, cualquier medio afectado por la contaminación que, en un determinado escenario de exposición, se encuentra accesible para que un receptor entre en contacto con el mismo e incorpore contaminantes a su organismo a través de una o varias vías.

Migración o movilización: Conjunto de procesos que afectan a los contaminantes desde que son liberados en el foco hasta que entran en contacto con los receptores. Incluye los procesos de transporte, transferencia y transformación.

Modelo conceptual: Esquema descriptivo de las condiciones de un emplazamiento en términos de los elementos de la cadena de riesgo: focos y distribución de los contaminantes, mecanismos de emisión y movilización, vías de exposición y receptores potenciales existentes.

Monitorizar: Según definición de la Real Academia Española, observar mediante aparatos especiales el curso de uno o varios parámetros fisiológicos o de otra naturaleza para detectar posibles anomalías.

Muestra compuesta: Muestra obtenida por combinación y homogeneización de muestras simples.

Muestra selectiva: Muestra tomada de acuerdo con el juicio previo de la persona que lleva a cabo un plan de muestreo y, por tanto, tomada bajo criterios no probabilísticos.

Muestra simple: Cada una de las muestras tomadas del medio que se quiere estudiar en un tiempo y lugar determinado, para su análisis individual.

Multifuncionalidad: Principio que persigue la protección y conservación de todas las funciones posibles del suelo. De acuerdo con él, la forma en que se utiliza el suelo en el presente no debe afectar a su capacidad para soportar en el futuro todo tipo de usos potenciales acordes con las características naturales del suelo. (6)

Nivel de fondo: Nivel o concentración normal de uno o varios agentes físicos o químicos en el medioambiente. Esta concentración puede entenderse como el nivel natural de una sustancia en el medioambiente, sin influencia de actividades humanas, o bien como un nivel antropogénico, que corresponde a la concentración de una determinada sustancia debida a fuentes no localizadas de origen humano.

Nivel freático: Límite superior de la zona saturada en el que el agua se encuentra a presión atmosférica.

Nivel genérico de referencia (NGR): la concentración de una sustancia contaminante en el suelo que no conlleva un riesgo superior al máximo aceptable para la salud humana o los ecosistemas y calculado de acuerdo con los criterios recogidos en el anexo VII del 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. (4)

Nivel objetivo: concentración de un contaminante que no comporta un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente en las condiciones definidas por el modelo conceptual.

Nivel piezométrico: Altura de la columna de agua en un punto de un acuífero que equilibra la presión del agua subterránea con la presión atmosférica.

Objetivos de recuperación: Directrices establecidas para una actuación de recuperación de un suelo contaminado consistentes, en general, en combinar medidas de reducción de las concentraciones de contaminantes en los medios afectados y medidas de reducción de la exposición de los receptores a dichos contaminantes.

Otros usos del suelo: aquellos que, no siendo ni urbano ni industrial, son aptos para el desarrollo de actividades agrícolas, forestales y ganaderas. (4)

Perímetro de protección: Delimitación de la superficie de captación de un pozo de agua para consumo humano, para un plazo de tiempo determinado, con el objetivo de evitar el vertido de sustancias contaminantes susceptibles de alterar la calidad de las aguas captadas, reprimir el desarrollo de cualesquiera nuevas actividades incompatibles con la preservación de los recursos explotados y reforzar los dispositivos de prevención y de control en las zonas de captación.

Permeabilidad: Capacidad de un medio para permitir el flujo de fluidos a su través.

Piezómetro: Pozo, en general de pequeño diámetro, construido con el fin de medir los niveles piezométricos o llevar a cabo el control y seguimiento de la calidad de las aguas subterráneas.

Plan de Manejo Ambiental: Plan que, de manera detallada, establece las acciones que se requieren para prevenir, mitigar, controlar, compensar y corregir los posibles efectos o impactos ambientales negativos causados en el desarrollo de un proyecto, obra o actividad.

Pluma de contaminación: Referido a aguas subterráneas, ámbito de un acuífero afectado por un fenómeno de contaminación en un momento dado.

Porosidad: Relación, expresada en porcentaje, entre el volumen de un cuerpo ocupado por espacios vacíos y el volumen total de dicho cuerpo.

Porosidad eficaz: En hidrogeología, relación, expresada en porcentaje, entre el volumen del suelo ocupado por espacios vacíos interconectados y el volumen total de dicho suelo.

Pozo de control: Perforación realizada en un acuífero y equipada con el fin de medir periódicamente determinados parámetros del mismo. Habitualmente también se destina a tomar muestras de agua subterránea para determinaciones analíticas.

Presión de vapor o de saturación: presión, para una temperatura dada, en que la fase líquida y el vapor se encuentran en equilibrio dinámico.

Punto de exposición: En análisis de riesgos, lugar representativo de la ubicación de un receptor con el que puede entrar en contacto un determinado contaminante procedente del foco.

Recarga: Volumen de agua que, por medios naturales o artificiales, entra en un acuífero durante un período de tiempo determinado.

Receptor: Individuo representativo de un grupo de población humana o de otra especie, expuesto a la contaminación procedente del foco a través de una o más vías de exposición.

Recuperación: Conjunto de actuaciones correctoras que tienen por objeto reducir hasta niveles aceptables los riesgos derivados de la contaminación del suelo.

Retardo: Disminución de la velocidad de transporte de un contaminante en agua subterránea con respecto a la del propio agua, debido a los procesos de adsorción y desorción (que ocurren en la materia orgánica contenida en la matriz de la zona saturada y en las arcillas fundamentalmente).

Riesgo: Probabilidad de que un contaminante presente en el suelo entre en contacto con un receptor y produzca efectos adversos en la salud de las personas o el medio ambiente.(4)

Ruta de exposición: Conjunto de procesos que relacionan la causa de la contaminación con los receptores finales de aquélla. Una ruta de exposición se compone, en general, de

los siguientes elementos: foco, contaminante, medio, mecanismos de migración, vía de exposición y receptor.

Saneamiento: Actuación de recuperación orientada a disminuir las concentraciones de los contaminantes en el suelo.

Solubilidad: Capacidad de una sustancia de disolverse en un líquido.

Sondeo: Perforación realizada en el terreno con el objeto de estudiar las características del suelo.

Sondeo ligero o semimecánico: Perforación realizada en el terreno por medio de herramientas de tipo portátil requiriendo, generalmente, suministro de energía eléctrica.

Sondeo manual: Perforación realizada en el terreno por medio de herramientas de tipo manual, sin que sea necesario el suministro de energía eléctrica.

Sondeo mecánico: Perforación realizada en el terreno por medio de maquinaria pesada.

Suelo: 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 la capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso. No tendrán tal consideración aquellos permanentemente cubiertos por una lámina de agua superficial.(4)

Suelo contaminado: Aquél 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. (4)

Toxicidad: Capacidad de una sustancia, una vez incorporada en un ser vivo, de producir un efecto adverso sobre su organismo.

Transferencia: Conjunto de procesos que determinan el traslado de un contaminante de un medio a otro (suelo-agua, suelo-aire, agua-aire, etc.).

Transformación: Conjunto de procesos que determinan la conversión de un determinado contaminante en otras especies químicas dentro de un medio.

Transporte: Conjunto de procesos que determinan el movimiento de un contaminante en un medio, excluidos los mecanismos de transferencia y transformación.

Uso industrial del suelo: Aquel que tiene como propósito principal el de servir para el desarrollo de actividades industriales, excluidas las agrarias y ganaderas. (4)

Uso urbano del suelo: Aquel que tiene como propósito principal el de servir para el desarrollo de actividades de construcción de viviendas, oficinas, equipamientos y dotaciones de servicios, y para la realización de actividades recreativas y deportivas. (4)

Velocidad de Darcy: También llamada velocidad de flujo específico, corresponde a la velocidad tal que multiplicada por la sección total del medio poroso resulta el caudal.

Puesto que parte de la sección de paso está ocupada por material poroso, esta velocidad no se corresponde con la velocidad media del agua que circula por el material poroso en cuestión.

Velocidad de flujo: Resulta del cociente entre la velocidad de Darcy y la porosidad eficaz del medio poroso. Esta magnitud representa la velocidad media a la que circula el agua a través de un medio poroso y cualquier partícula disuelta transportada por advección.

Vía de exposición: Mecanismo de entrada o incorporación de un contaminante al receptor. Las vías de exposición genéricas son ingestión, contacto dérmico e inhalación.

Vulnerabilidad: Representa la sensibilidad de un acuífero o agua subterránea para ser adversamente afectado por una carga contaminante impuesta. (7)

Zona no saturada: Parte del suelo situada por encima de la superficie freática en la que los huecos se encuentran ocupados por líquidos (normalmente agua) o gases (normalmente aire) a presión atmosférica.

Zona saturada: Parte del suelo en la que los huecos se encuentran ocupados íntegramente por líquidos (normalmente agua) a una presión igual o superior a la atmosférica.

Fuentes:

- (1) Directiva 96/62/CE, del Consejo, de 27 de septiembre de 1996, sobre evaluación y gestión e la calidad del aire ambiente. DOCE L/296, de 21 de noviembre de 1996
- (2) Guía de Investigación de la calidad del suelo. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid. 2004
- (3) Mcmillen, S.J., KERR, J.M., NAKLES, D.V.; 2001.- Composition of Crude Oils and Gas Condensates. En: Mcmillen, S.J., MAGAW, R.I. & CAROVILLANO, R.L.(eds), 2001.- Risk-Based Decisión-Making for Assessing Petroleum Impacts at Exploration and Production Sites. Chevron Research and Technology Company, CH2m Hill. US.
- (4) 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.
- (5) Directiva 91/414/CEE, del Consejo, de 15 de julio de 1991, relativa a la comercialización de productos fitosanitarios. DOCE L/230, de 19 de agosto de 1991. P. 001-0032.
- (6) Acuerdo de 25 de octubre de 2001, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Plan Regional de Actuación en materia de Suelos Contaminados de la Comunidad de Madrid. BOCM N° 283, 28 de noviembre.

- (7) Foster S. y R. Hirata. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Una metodología basada en datos existentes. CEPIS: 1-81. Lima 1991.

CAPITULO 6 ASPECTOS GENERALES DEL CONTROL Y SEGUIMIENTO DE EMPLAZAMIENTOS CON ACTIVIDADES POTENCIALMENTE CONTAMINANTES

6.1 Introducción

De acuerdo al “Esquema general de gestión de los suelos contaminados en la Comunidad de Madrid”, podrá requerirse la elaboración de un Plan de Control y Seguimiento en las siguientes circunstancias:

- a) Cuando durante la caracterización analítica se han detectado indicios de afección aunque ésta no sea significativa (valores por debajo de los Niveles Genéricos de Referencia).
- b) Cuando tras la caracterización analítica (parte de la Investigación Preliminar), se haya detectado una afección significativa (se superan los Niveles Genéricos de Referencia y/o la concentración de hidrocarburos totales de petróleo sea superior a 50 mg/kg) y mediante el Análisis Cuantitativo de Riesgos (parte de la Caracterización Detallada) se ha determinado que el Riesgo es aceptable.
- c) Cuando como en el caso anterior, existe una afección significativa, sin embargo se determina que el Riesgo es inaceptable , por tanto, deben realizarse acciones de recuperación.

Adicionalmente, podrá requerirse dicho plan en los siguientes supuestos:

- d) A la finalización de los Proyectos de Recuperación de la calidad del suelo
- e) En emplazamientos sin indicios de afección pero que por la alta vulnerabilidad del medio (p.e. nivel de agua subterránea muy próximo a la superficie, numerosos receptores, etc), se considere necesaria la “detección rápida” de procesos de contaminación.

Además de los criterios técnicos descritos anteriormente, y que justifican por si solos la ejecución de Planes de Seguimiento y Control, desde la entrada en vigor del Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, existe base legal para su requerimiento por aplicación de su artículo 3, relativo a la presentación de informes de situación por parte de titulares de actividades potencialmente contaminantes y propietarios de suelos en los que se han desarrollado en el pasado.

Su artículo 3.4 establece la obligación a los titulares de remitir periódicamente un informe de situación, cuyo contenido y periodicidad son determinados por el órgano competente de la Comunidad Autónoma.

6.2 Objetivos

El objetivo primordial de los Planes de Control y Seguimiento es la prevención de potenciales riesgos a las personas y al medio ambiente por medio de la detección temprana de procesos contaminantes al suelo y agua subterránea.

Los objetivos de los Planes de Control y Seguimiento son:

- Conocer la evolución de los contaminantes en el medio y, en su caso, definir focos activos de contaminación y proceder a su eliminación.
- Detección rápida de procesos de contaminación.
- Evaluar trabajos de limpieza y recuperación.
- Establecer la eficacia de los trabajos de descontaminación en el tiempo.

Por medio de este sistema de prevención se podrá actuar con la celeridad suficiente para o bien eliminar totalmente el riesgo o, al menos, limitarlo espacialmente a la zona de control.

Además del riesgo, es evidente, que este sistema permitirá reducir de forma notable, los costes asociados a las labores de recuperación, así como de las responsabilidades legales.

El objetivo de la presente guía es servir de ayuda práctica para:

- El diseño de los Planes de Control y Seguimiento.
- El desarrollo de las labores de campo contempladas en los mismos.
- La redacción de los Informes Periódicos de Control y Seguimiento.

6.3 Modelo Conceptual

Para poder cumplir con el objetivo primordial de prevención, es preciso entender cómo se genera la situación de riesgo a partir de la contaminación del suelo. De forma esquemática para que exista riesgo deben existir los siguientes componentes:

- Un **foco** de sustancias contaminantes, que genera unas determinadas concentraciones en el suelo y/o agua subterránea (por ejemplo una zona de almacenamiento de sustancias contaminantes).
- Un **receptor** de la sustancia contaminante, para el que dicha sustancia es tóxica o cancerígena por encima de una determinada dosis (p.e. los consumidores de los productos de una granja con un pozo situado aguas abajo de la zona, que se usa para riego).
- Una **vía de exposición** (p.e. la sustancia almacenada puede verterse y una vez afectado el suelo, pueden penetrar en profundidad hasta afectar al agua subterránea y disolverse en la misma. Una vez disueltos pueden moverse con el agua hasta llegar al pozo; debido al riego pueden ser asimilados por los vegetales, pasando posteriormente a la cadena alimenticia de los consumidores).

Al conjunto de potenciales focos, receptores y vías de exposición, en un periodo temporal determinado, se le denomina **Modelo Conceptual**.

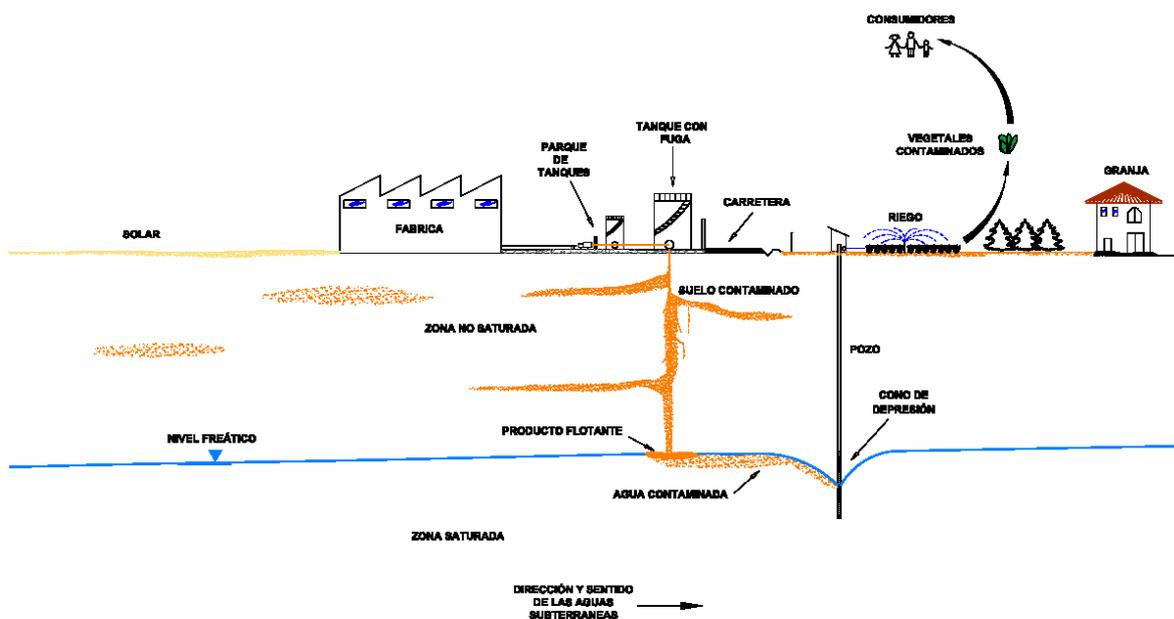


Figura 6.1. Ejemplo de modelo conceptual

Cualquier modificación en estos componentes, podrá modificar las condiciones de riesgo. Por lo tanto para poder prevenir los riesgos efectivamente, será necesario conocer con la mejor exactitud posible el Modelo Conceptual aplicable al ámbito temporal del suelo en estudio.

Para aclarar este concepto se incluyen algunos ejemplos:

- El foco anteriormente mencionado ha desaparecido. Sin embargo existe un nuevo foco activo generado por una rotura de una tubería que trasiega otras sustancias, por lo tanto, cambian los compuestos contaminantes y sus características físicas y químicas. Estos compuestos pudieran ser más solubles que los iniciales, con lo que se movilizan más rápidamente en el agua y puede que alcancen el pozo en concentración suficiente para generar un riesgo.
- Los habitantes de la granja solían utilizar agua de red, sin embargo, por efecto de la sequía y las restricciones, han comenzado a utilizar de nuevo el agua del pozo. Ahora el receptor son los habitantes de la granja.
- Se ha instalado una fábrica aguas arriba que ha perforado un pozo para suministro de agua de proceso. El bombeo realizado es de gran caudal, de forma que se invierte el flujo del agua localmente. Ahora la contaminación del tanque no se dirige hacia la granja, si no hacia el pozo de la nueva fábrica. Aunque debido a la distancia, las concentraciones que llegan a la fábrica son casi indetectables.

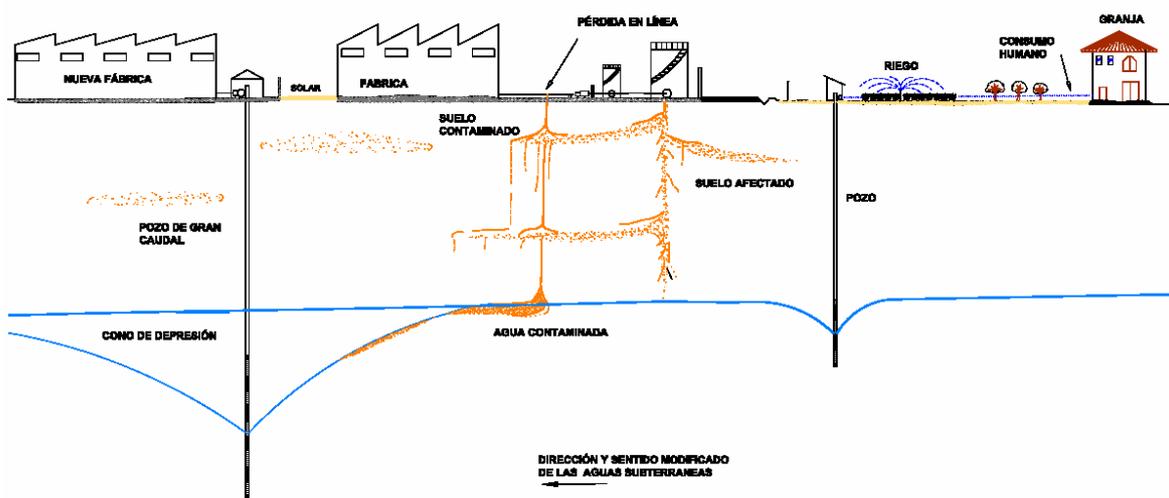


Figura 6.2. Ejemplo de modelo conceptual modificado

Estos cambios, deben ser evaluados periódicamente, dado que pueden suponer modificaciones muy importantes tanto en el sentido de aumentar el riesgo, como de eliminarlo.

Durante el diseño de los Planes de Control y Seguimiento será fundamental contar con un Modelo Conceptual lo más ajustado a la realidad y que, por su variabilidad temporal, debe revisarse periódicamente. En este sentido, el Modelo Conceptual será la base para el diseño y revisión de los componentes principales del Plan de Control y Seguimiento:

- Red de control: debe cumplir el objetivo de monitorizar tanto los focos como las vías de exposición, teniendo en cuenta la velocidad de transporte de cada vía y previendo una ubicación que permita la alerta temprana.
- Programa analítico y niveles objetivo: debe cumplir el objetivo de evaluar la evolución de los focos teniendo en cuenta las vías de transporte de cada contaminante, previendo la detección de compuestos esperables aunque anteriormente no se hayan detectado y sirviendo de alarma temprana de acuerdo a los niveles objetivo, los cuales pueden definirse en función de las necesidades, no sólo para el suelo objeto de estudio, si no también para el agua subterránea, e incluso para el medio gaseoso.
- Periodicidad del muestreo: se debe ajustar a los objetivos de alarma temprana, para lo cual se deben tener en cuenta tanto las velocidades de transporte de los contaminantes en las vías evaluadas como la variabilidad natural de las variables que condicionen las mismas (periodos de estiaje o de alta infiltración, modificaciones temporales de la dirección de flujo del agua subterránea, etc.).

6.4 Red de Control

6.4.1 Introducción

Siguiendo el esquema general de la gestión de suelos contaminados en la Comunidad de Madrid, poner en marcha actuaciones de recuperación y/o de control y seguimiento en un emplazamiento resulta de la necesidad identificada en la etapa previa de diagnóstico que incluye la investigación preliminar y, en su caso, la investigación detallada.

Las diferentes tecnologías de recuperación de suelos contaminados, tal y como se describen en la Guía de Tecnologías de Recuperación de Suelos Contaminados de la

Comunidad de Madrid, están diseñadas y orientadas a la consecución de uno o una combinación de los siguientes objetivos básicos:

- Control y confinamiento de la contaminación dentro de unos límites definidos.
- Restauración de la calidad del suelo y aguas subterráneas para cumplir con unos determinados estándares, derivados de legislación aplicable, valores de fondo del contaminante/s en la zona de actuación y concentraciones residuales máximas admisibles basadas en una evaluación del riesgo.

La consecución exitosa de los objetivos planteados en un determinado proyecto de recuperación, conlleva un nuevo escenario donde el riesgo derivado se considera aceptable. No obstante, la combinación de los diferentes procesos físicos y químicos que confieren al suelo su carácter dinámico, junto con la propia naturaleza de los contaminantes de interés, puede originar desviaciones de la situación final alcanzada en los trabajos de recuperación. Tales procesos, que incluyen fenómenos de disolución, procesos de retardo, desorción no instantánea, difusión en matrices heterogéneas, procesos de disolución a partir de una fase libre sobrenadante (LNAPL), precipitación de contaminantes disueltos, variaciones en la velocidad de flujo, etc., originan habitualmente situaciones donde la reducción de la concentración de un contaminante por debajo de un determinado nivel se hace difícil a una escala de tiempo razonable (fenómeno de “tailing” o fase asintótica), o donde se producen repuntes de concentración del contaminante (fenómeno de “rebound” o rebote).

A partir de este punto, la gestión del emplazamiento deberá contar con un seguimiento efectivo que garantice el mantenimiento en el tiempo de estas condiciones o la detección temprana de cambios que supongan una nueva situación de riesgo no aceptable, pudiendo justificar la adopción de medidas adicionales de investigación y/o de recuperación.

6.4.2 Objetivos de la red de control y seguimiento

El objetivo principal de una red de control y seguimiento es la eficaz y temprana detección, en una escala de tiempo adecuada al emplazamiento de estudio y su entorno de riesgos, de cualquier impacto en el medio o medios monitorizados que pueda constituir un indicador de:

- Una desviación negativa de las concentraciones residuales remanentes tras la finalización de un proyecto de recuperación, entrando en conflicto con los objetivos planteados (estándares de calidad, concentraciones residuales admisibles, etc.)
- Un episodio de afección reciente, permitiendo la identificación temprana del foco y la adopción de medidas de protección y correctoras. En este escenario se incluye la detección de una situación de emergencia que pueda implicar la existencia de una situación de riesgo no aceptable para los potenciales receptores existentes; tal es el caso de una fuga o vertido de contaminantes en una instalación operativa, pudiendo alcanzar, por ejemplo, las aguas de un río próximo.

La definición de estos objetivos puede incluir diferentes escalas temporales a las que debe ajustarse el diseño de la red de control y seguimiento. En instalaciones operativas o en aquellas inactivas no sujetas a requisitos de protección ambiental, los objetivos típicamente van planteados a corto plazo, con la finalidad de detectar de manera temprana posibles futuros impactos, fugas o aportes de contaminantes al suelo.

Las zonas de las instalaciones o actividades más importantes a controlar son:

- instalaciones de almacenamiento de contaminantes líquidos subterráneas y en superficie, incluyendo el sistema de tuberías, bombas y válvulas asociado.
- zonas de almacenamiento de residuos, activas o abandonadas.
- sistemas de gestión de aguas residuales, de proceso, sanitarias, hidrocarburadas, etc.
- sistemas industriales de tratamiento de aguas residuales.
- pozos no debidamente construidos.
- pozos abandonados.

Los objetivos a largo plazo se plantean típicamente en emplazamientos o instalaciones activas o abandonadas, donde se han desarrollado proyectos de recuperación de la calidad del suelo, controlando la evolución de los contaminantes remanentes.

6.4.3 Tipos de puntos de control

Habitualmente, el control y seguimiento de la calidad del suelo se realiza de forma indirecta a través del control de las aguas subterráneas y/o del aire intersticial en la zona no saturada o vadosa del subsuelo. En ambos casos, el diseño y tecnología constructiva

para la instalación de puntos de control está ampliamente desarrollada y disponible a escala comercial, permitiendo disponer de puntos fijos, que debidamente acondicionados y protegidos, perduran en el tiempo permitiendo un rápido acceso e inspección de las aguas subterráneas o del aire intersticial, en cada caso.

El control de los suelos puede realizarse mediante diversas técnicas de tipo no intrusivo (indirectas) o intrusivas (directas). La descripción de estas técnicas se recoge en la Guía de Investigación de la Calidad del Suelo de la Comunidad de Madrid. En todos los casos, se trata de técnicas que proporcionan mediciones o exploraciones puntuales en el tiempo (p.e. realización de un sondeo sin instalación piezométrica, calicatas de investigación, realización de diagráfias en una perforación, exploración geofísica en superficie, etc).

Los diferentes puntos de control que pueden integrar una red de control y seguimiento presentan una naturaleza diversa: pozos de monitoreo de aguas subterráneas, piezómetros, captadores de vapor en la zona vadosa, manantiales, puntos de rezume, captaciones de agua subterránea (pozos), ríos, puntos de descarga de efluentes líquidos/gaseosos, etc.

Para un emplazamiento o instalación particular, la red de control y seguimiento estará constituida por un conjunto específico de puntos diseñados específicamente para el control de las condiciones existentes en el subsuelo del emplazamiento, permitiendo valorar la eficacia y mantenimiento en el tiempo de las actuaciones de recuperación llevadas a cabo, la detección temprana de nuevos aportes de contaminantes y la evolución de los contaminantes. El número, tipo y localización de los puntos de control y muestreo responde a un análisis caso por caso, debiendo basarse su diseño en los datos y resultados obtenidos en las etapas previas de investigación (fase exploratoria y detallada) y, en su caso, de actuaciones de recuperación, donde se han debido detallar los siguientes elementos específicos de la instalación y/o emplazamiento de interés:

- Modelo Conceptual del emplazamiento
 - o Geología superficial y topografía.
 - o Formaciones geológicas de interés (estratigrafía y estructura).
 - o Litología y espesores de formaciones acuíferas existentes. Aspectos hidrogeológicos básicos (conductividad hidráulica y porosidad).
 - o Zonas de recarga y descarga, detección de posibles inversiones o modificaciones de flujo.

- Entorno de riesgos y receptores sensibles (definición de zonas especialmente vulnerables).
- Red de flujo de las aguas subterráneas
 - Niveles piezométricos.
 - Gradientes hidráulicos y posibles interconexiones entre diferentes formaciones acuíferas.
 - Velocidades de flujo subterráneo (caudal específico o velocidad de Darcy, velocidad real de flujo).
- Características de la instalación o emplazamiento de estudio
 - Planos de detalle de las instalaciones.
 - Diagrama de flujos y procesos, identificando contaminantes asociados y unidades de la instalación especialmente sensibles por su potencial impacto en el medio (p.e. instalaciones de almacenamiento subterráneo de sustancias contaminantes).
 - Perfiles longitudinales y transversales correlacionando aspectos clave de la instalación con la litología y direcciones de flujo.
- En el caso de desarrollo de actuaciones de recuperación
 - Localización de zonas afectadas y focos de afección.
 - Extensión de las plumas de contaminantes en los medios afectados.
 - Niveles de concentración de fondo en áreas no impactadas de los contaminantes de interés.
 - Red de pozos de operación y monitoreo existente.

En este sentido, los puntos de control genéricamente permiten la obtención de datos relacionados con los siguientes aspectos clave:

- parámetros hidrogeológicos
 - mediciones de nivel piezométrico
 - determinación de gradientes hidráulicos, especialmente relevante en emplazamientos donde se evalúe la eficiencia de un sistema de confinamiento o control hidráulico que define un gradiente hacia adentro en la zona de confinamiento o captura.
 - direcciones de flujo, permitiendo valorar la idoneidad de la localización de los puntos de control, así como identificar zonas especialmente vulnerables.
- calidad de las aguas subterráneas o del aire intersticial en la zona vadosa

- monitoreo y mediciones in-situ.
- análisis sensorial.
- muestreo y determinación en laboratorio de niveles de concentración de los contaminantes de interés.

En los siguientes subapartados se desarrollan los puntos y formas de control más comunes para aguas superficiales y medio subterráneo, según el siguiente esquema.

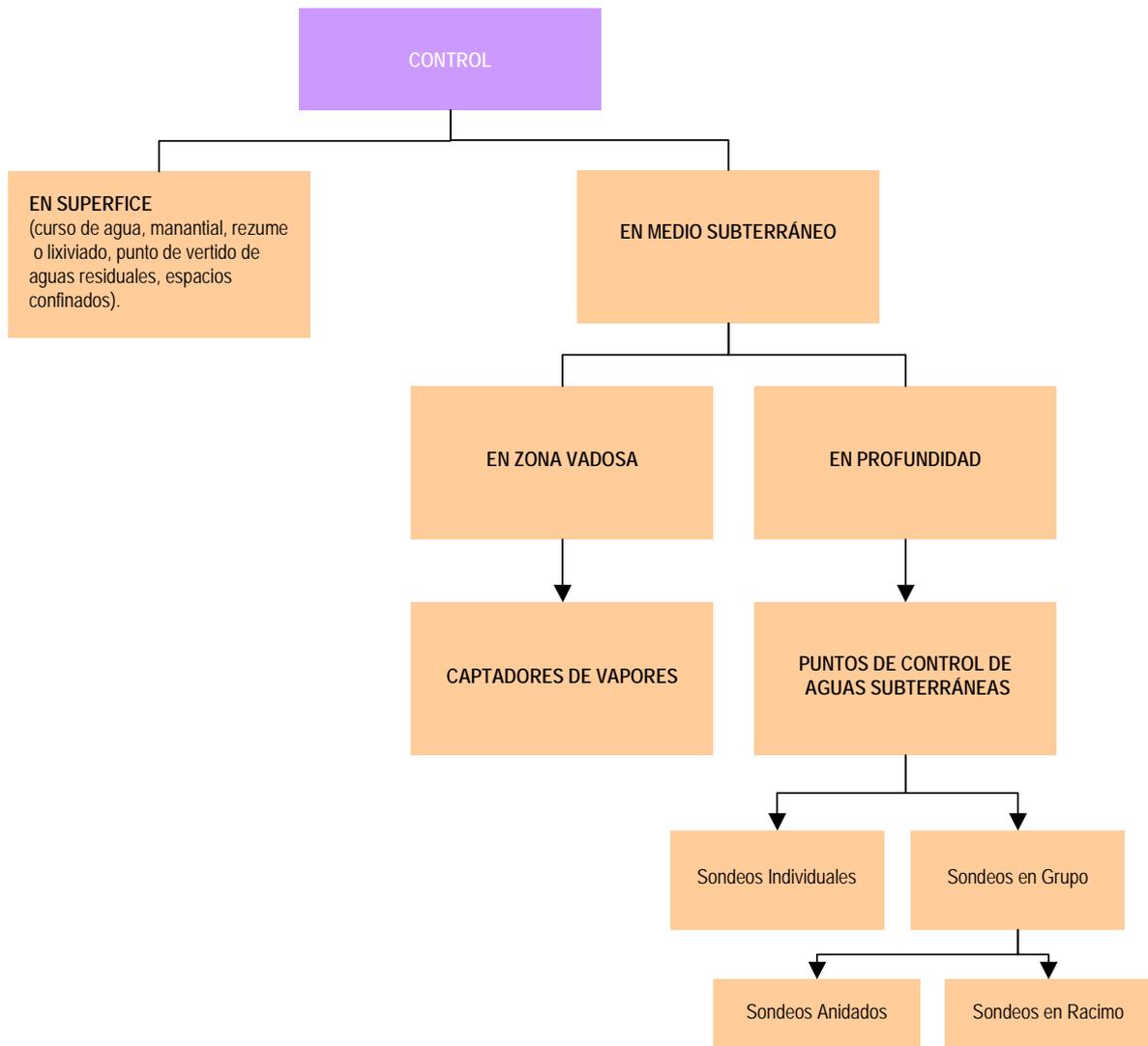


Figura 6.3. Esquema de puntos y formas de control más comunes

6.4.3.1 Puntos de control superficiales

En función de las características geológicas e hidrogeológicas del medio sujeto a la red de control y seguimiento, así como de las características particulares de la instalación o

emplazamiento, la red de control y seguimiento puede incorporar puntos de control/observación superficiales, caracterizados por los siguientes aspectos:

- Fácil acceso e identificación.
- Permiten inferir de manera indirecta condiciones ambientales del medio subterráneo (subsuelo).
- Las condiciones ambientales en el medio superficial están sujetas a importantes fluctuaciones con respecto a la relativa homogeneidad de éstas en el medio subterráneo. Cambios de presión, temperatura, grado de humedad, episodios de precipitaciones, heladas, etc. pueden afectar considerablemente la comparación de datos periódicos obtenidos en un mismo punto de control. Por este motivo, es necesario siempre registrar las condiciones particulares en las que se efectúa cada control.
- En numerosas ocasiones, los puntos superficiales de control no están dotados de instalaciones fijas (p.e. pozo o piezómetro de observación) y los medios de control (efluente, corriente de un río, vapores acumulados en un edificio) presentan un notable carácter dinámico, limitando la reproducibilidad de mediciones efectuadas.

A continuación, a modo de ejemplo, se presenta un listado de medios y elementos superficiales tradicionalmente empleados como posibles puntos de control y seguimiento:

- Curso de agua superficial (río, arroyo, riera, acequia, etc.). Es un aspecto clave identificar la conexión hidráulica del curso de interés con el medio subterráneo del emplazamiento, en concreto con la/s formación/es acuíferas identificadas:
 - o Curso de agua conectado o no con el acuífero de interés.
 - o Tramo del curso de agua ganador (efluente) o perdedor (influyente) en relación con la formación acuífera.
 - o Posición del tramo de muestreo respecto al emplazamiento (aguas arriba o aguas abajo) según la dirección de flujo subterráneo estimada. El control aguas arriba es interesante para definir niveles de concentración de fondo, así como para identificar posibles focos adicionales en el entorno próximo al emplazamiento.
- Manantial. Permite un control directo de las características del acuífero asociado, puesto que este tipo de surgencias son resultado de la salida de la superficie freática a la superficie del terreno. Aspectos importantes a valorar son:
 - o Posición del manantial respecto al emplazamiento o zonas de interés (aguas arriba o aguas abajo).

- Fluctuaciones estacionales del caudal de salida.
- Acondicionamiento o no del punto de salida del manantial. Usos del agua.
- Puntos de vertido a los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Su control y seguimiento puede permitir una detección temprana de irregularidades en el funcionamiento de la instalación, episodios de fugas o vertidos, saturación del sistema de tratamiento de efluentes, etc.
- Espacios confinados / construcciones subterráneas. La acumulación de vapores en espacios cerrados que puedan catalogarse como posibles puntos de exposición (p.e. sótanos, garajes subterráneos, galerías de servicios, pozos de captación de aguas, etc.) puede ser resultado de una afección en el subsuelo. El control directo de concentraciones de compuestos orgánicos volátiles en estos puntos proporciona un indicador indirecto de las condiciones presentes en el subsuelo inmediato.
- Rezumes y lixiviados. Estos fenómenos pueden ser observables directamente en el terreno, a través de planos de fractura en paredes rocosas, en fisuras de edificaciones, etc. La presencia de manchas, humedades, coloraciones anómalas y olores característicos pueden ser indicadores sujetos a un control y seguimiento periódico, así como la toma de muestras para la identificación de los contaminantes presentes.

6.4.3.2 Puntos de control en profundidad (medio subterráneo)

A diferencia de los puntos de control en superficie, el medio subterráneo no es accesible de forma directa, requiriendo del diseño e instalación de dispositivos que permitan acceder a los tramos del subsuelo de interés (zona vadosa o nivel de agua subterránea). Generalmente, la tecnología empleada en estos casos implica un mayor esfuerzo y costes, siendo crucial una óptima planificación y diseño para optimizar el número y localización de los puntos de control a los objetivos establecidos en cada programa de control y seguimiento ambiental.

6.4.3.2.1 Puntos de control en zona vadosa (captador de vapor)

La característica práctica de mayor interés de la zona vadosa o no saturada hace referencia a la presencia de fluidos contenidos en los poros del subsuelo. Junto con la presencia de agua, otro de los fluidos de mayor interés es el aire, estableciéndose entre ambas fases un intercambio según las condiciones presentes en el medio. Otros posibles líquidos presentes en la zona vadosa se clasifican en función de su afinidad con el agua,

distinguiendo líquidos miscibles (p.e. lixiviados de vertederos, efluentes de fosas sépticas, etc.) y no miscibles (p.e. hidrocarburos).

Bajo condiciones estacionarias, la presión de vapor de un líquido (p.e. agua) dirige un proceso que, en última instancia, causa que la fase gaseosa y líquida lleguen a una situación de equilibrio. Este aspecto es de especial relevancia en el caso de emplazamientos con presencia de contaminantes volátiles, determinando su presencia en la fase gaseosa si el contaminante está presente en fase sólida y/o líquida en la misma zona vadosa o en sus proximidades. De esta manera, la fase gaseosa puede ser muestreada y analizada, permitiendo correlacionar estos resultados con la presencia del contaminante en la fase líquida dentro de la zona vadosa o por debajo (p.e. aceites sobrenadando en el acuífero subyacente).

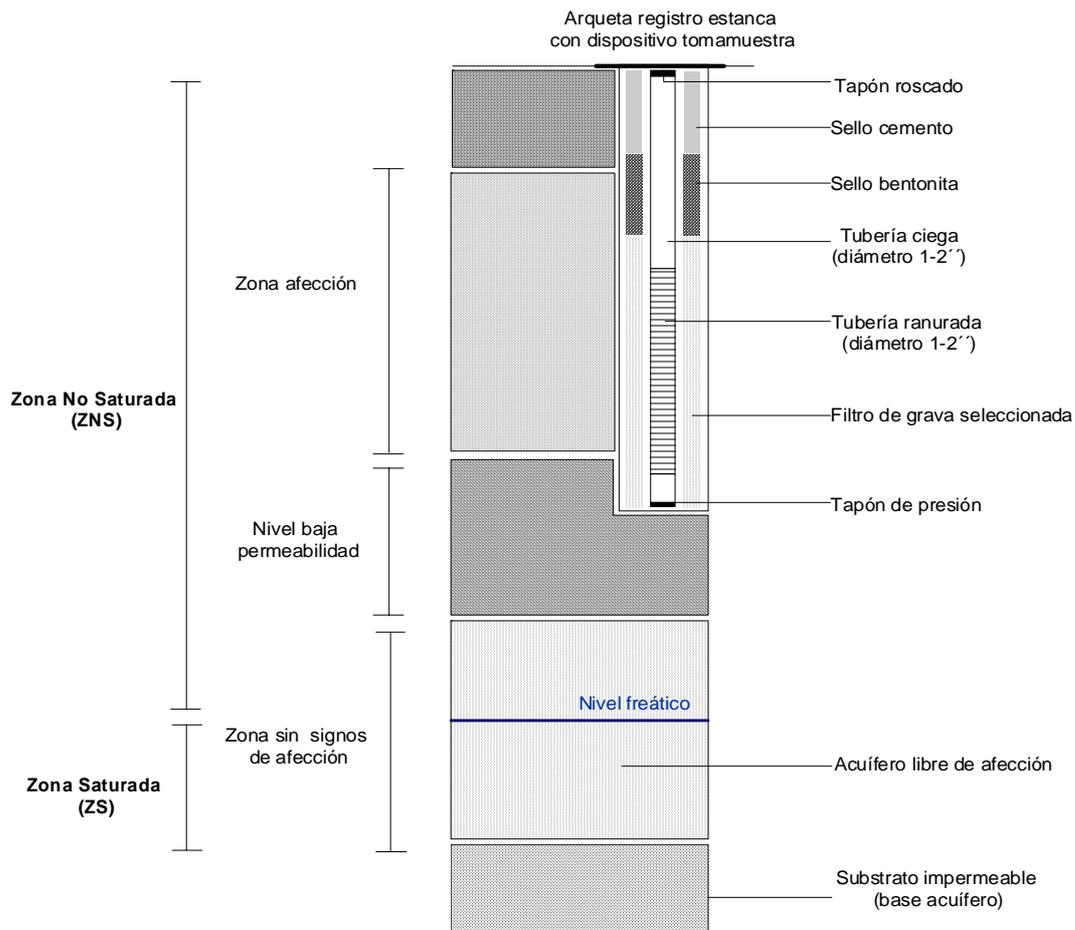
En la práctica, el control de volátiles en la zona vadosa se lleva a cabo comúnmente en emplazamientos donde:

- No existe un acuífero superficial.
- Acuíferos superficiales poco vulnerables con un nivel freático profundo >10-20 m. La limitación al control de la zona vadosa en estos casos debe ir precedida de la investigación y comprobación de la ausencia de afección en el acuífero subyacente.
- Emplazamientos donde la localización idónea de puntos de control en las aguas subterráneas no está claramente identificada, utilizándose como criterio de diseño la presencia de gases en la zona vadosa.
- Emplazamientos donde estén establecidos objetivos de calidad para la presencia de gases en el subsuelo.

La tecnología de investigación actualmente más implantada para el control de gases en el subsuelo combina métodos intrusivos de perforación con sistemas activos de muestreo mediante bombeo. Estos dispositivos de control reciben el nombre de captadores de vapor, resumiendo a continuación sus características constructivas y de diseño básicas:

- Sistemas de perforación. Diversos sistemas aplicables, en función de la necesidad de recuperación de testigo, profundidades a alcanzar, características litológicas del terreno, diámetros del taladro y presupuesto disponible. Un resumen comparativo de ellos se incluye en la Guía de Investigación de la Calidad del Suelo de la Comunidad de Madrid. A destacar:

- Sondeos mecánicos (sistemas de perforación por rotación o helicoidal).
 - Sondeos semi-mecánicos o ligeros (percusión).
 - Sondos y penetrómetros.
- Profundidad de diseño. Generalmente los dispositivos se instalan a profundidades inferiores a 5 metros. La profundidad del captador está condicionado por:
- Profundidad del nivel freático.
 - Profundidad de la fuente de contaminación.
- Instalación del captador de vapores.
- PVC es el material comúnmente empleado.
 - Diámetro de tubería comprendido entre 1 y 2 pulgadas.
 - Zona de captación acondicionada mediante cápsula porosa (sondas y penetrómetros) o mediante tramo ranurado de tubería. El tramo de captación de vapores debe estar próximo a la contaminación presente en el subsuelo, entre 2 y 10 metros. La longitud del tramo ranurado debe ajustarse al horizonte o capa del subsuelo relacionada con la existencia de afección.
 - En instalaciones de diámetro inferior a la del taladro, el tramo anular en la zona de captación se rellenará con grava seleccionada (filtro). El resto de la perforación, coincidente con los tramos de tubería ciegos, se sellará mediante bentonita o lechada de cemento.
 - Identificación del captador, acondicionamiento en superficie con arqueta de registro y protección de la tubería en caso de quedar por encima de la superficie del suelo.



Esquema 1. Esquema conceptual de un captador de vapor en zona no saturada

6.4.3.2.2 Puntos de control de las aguas subterráneas

Habitualmente, el control de las aguas subterráneas en trabajos de índole medioambiental se lleva a cabo mediante dos grupos fundamentales de dispositivos:

- Piezómetros de control o pozos de monitoreo. Se trata de captaciones específicamente diseñadas y acondicionadas para este tipo de tareas, donde se controla con especial cuidado la selección del tramo específico del acuífero objeto de interés, así como la adopción de medidas de protección que minimicen efectos de contaminación cruzada o la exposición innecesaria del acuífero a medios afectados.
- Captaciones de agua subterránea (pozos). Corresponde a captaciones diseñadas para la explotación de aguas subterráneas, bien para consumo, riego o usos industriales. El diseño y características constructivas de estas captaciones tiene como objetivo fundamental satisfacer la demanda de un determinado caudal de

explotación, asegurando una adecuada calidad del agua bombeada (p.e. contenido en finos).

A continuación, se resumen los principales tipos de instalaciones y diseños para cada uno de estos dispositivos, junto con aspectos clave a considerar para su efectivo funcionamiento dentro de una red de control y seguimiento:

Piezómetros o pozos de control

En este apartado no se van a abordar los aspectos constructivos previos para la instalación de una captación de este tipo, que básicamente incluyen las fases de perforación, limpieza de la perforación y equipamiento/entubado del piezómetro. Una síntesis de estos aspectos se trata posteriormente en el punto 6.4.5 “Reposición o ejecución de nuevos puntos de control”.

Tal y como se ha indicado anteriormente, uno de los aspectos clave de un piezómetro de control es la posibilidad de diseñar la profundidad del tramo/s del acuífero cuyo control y seguimiento interesa. Esta decisión es crucial para la consecución de los objetivos planteados para cada punto de control, puesto que generalmente estas instalaciones son irreversibles, no permitiendo hacer determinaciones del nivel de agua subterránea en tramos diferentes a los fijados en la construcción del piezómetro.

La Guía de Investigación de la Calidad del Suelo de la Comunidad de Madrid distingue dos categorías básicas de instalación de piezómetros de control de las aguas subterráneas que pueden agruparse en:

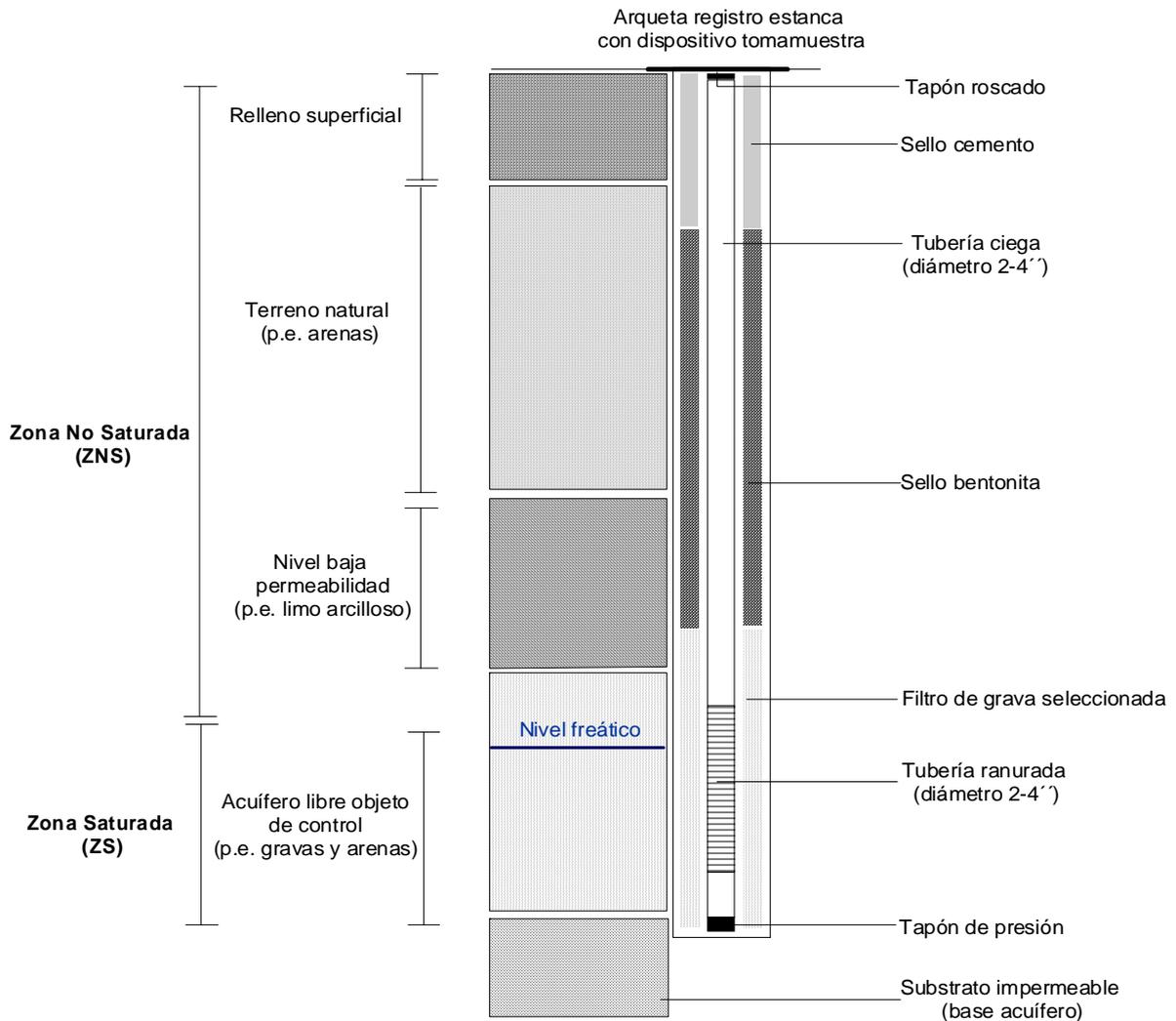
- A. Piezómetros de control individuales
- B. Grupos de piezómetros de control

La selección del diseño más adecuado debe considerar, entre otros aspectos, los objetivos establecidos en la red de control y seguimiento ambiental, las características hidrogeológicas del acuífero a monitorizar, el tipo de contaminantes presentes y la extensión tridimensional de la pluma de afección (largo, ancho y profundidad).

A. Piezómetros de control individuales

Tal y como se indica, este tipo de pozos de control corresponde a instalaciones individuales, constituidas por la instalación piezométrica o entubado de una perforación. En el contexto de una red de control y seguimiento, estos piezómetros de control pueden estar localizados en la zona de actuación de las medidas de recuperación o en zonas perimetrales de monitoreo donde no se tiene constancia de la existencia de afección (p.e. puntos de control aguas arriba). Los elementos básicos del dispositivo se enumeran a continuación:

- Rejilla o tubo filtro piezométrico. Su instalación puede ser continua o discontinua (pozos multi-nivel). La longitud de la rejilla debe ajustarse a la capa del acuífero de interés en función de:
 - o las características hidrogeológicas de la formación (p.e. acuíferos multi-capas).
 - o control y seguimiento de horizontes específicos en los cuáles se han acometido actuaciones de recuperación.
 - o control y seguimiento de tramos en los cuáles no se ha detectado o no se prevé la existencia de afección.
 - o correlación con tramos específicos de monitoreo en otros puntos de control.
- Macizo de material filtrante (grava). Debe ajustarse al tramo de rejilla, elevándose ligeramente sobre el límite superior para prever ajustes del empacado (asentamiento) durante las operaciones de desarrollo y limpieza del pozo.
- Sellado anular y tubo piezométrico ciego. En conjunto, limitan la conexión entre el medio subterráneo y la captación a la zona de rejilla, aislando tramos afectados fuera de la zona de captación, evitando recargas verticales, conexión con otros niveles, fenómenos de contaminación cruzada, etc. En el caso de piezómetros multi-nivel, es común el empleo de obturadores o packers.



Esquema 2. Esquema conceptual de un piezómetro de control de las aguas subterráneas

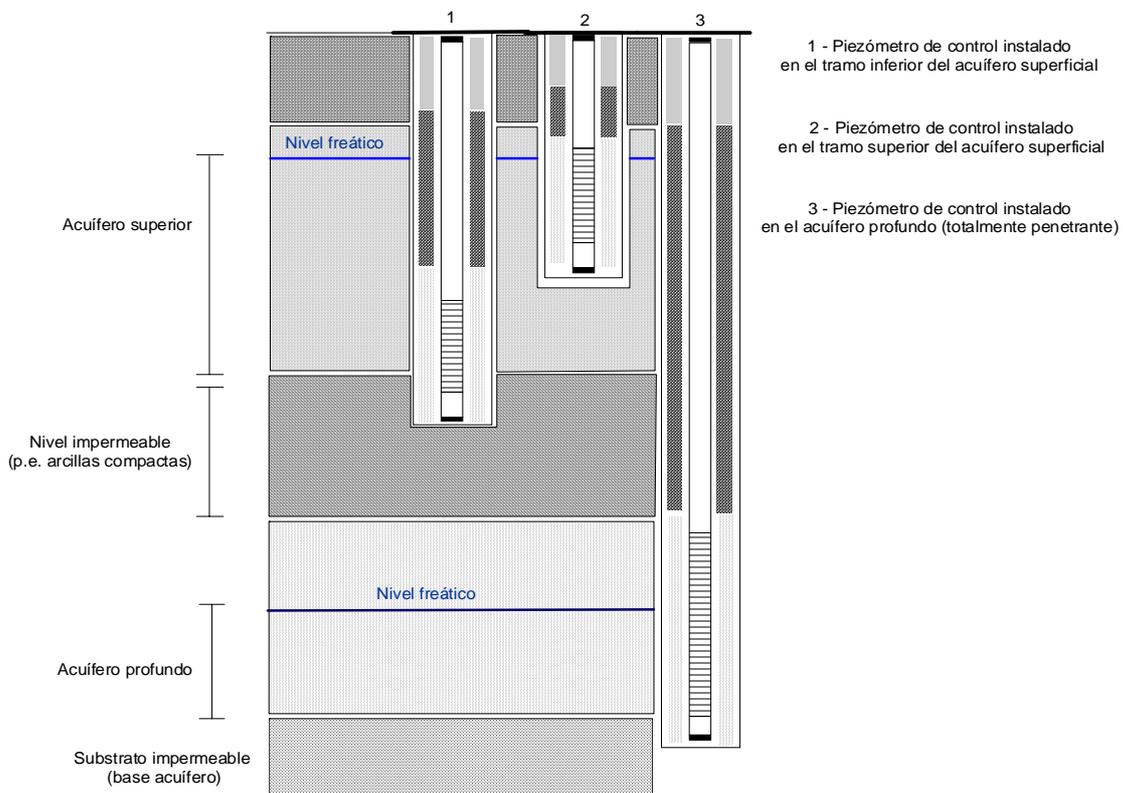
B. Grupos de piezómetros de control

En emplazamientos que presentan una notable complejidad, bien por las características del medio geológico, bien por la distribución/extensión de los contaminantes presentes, la disponibilidad en cada punto de control de un único piezómetro de control puede no ser suficiente. En estos casos, el programa de control y seguimiento debe valorar la instalación de grupos de piezómetros que permitan, en cada punto la medición de niveles y el control de la calidad de las aguas subterráneas a diferentes profundidades, por separado y de manera independiente.

Los elementos básicos que incorpora cada dispositivo (tramo de rejilla, tramo ciego, filtro de grava y sellado del anular) son análogos a lo descrito para piezómetros de control

individuales, adaptados a cada tipo particular de instalación. Las más habituales se muestran a continuación:

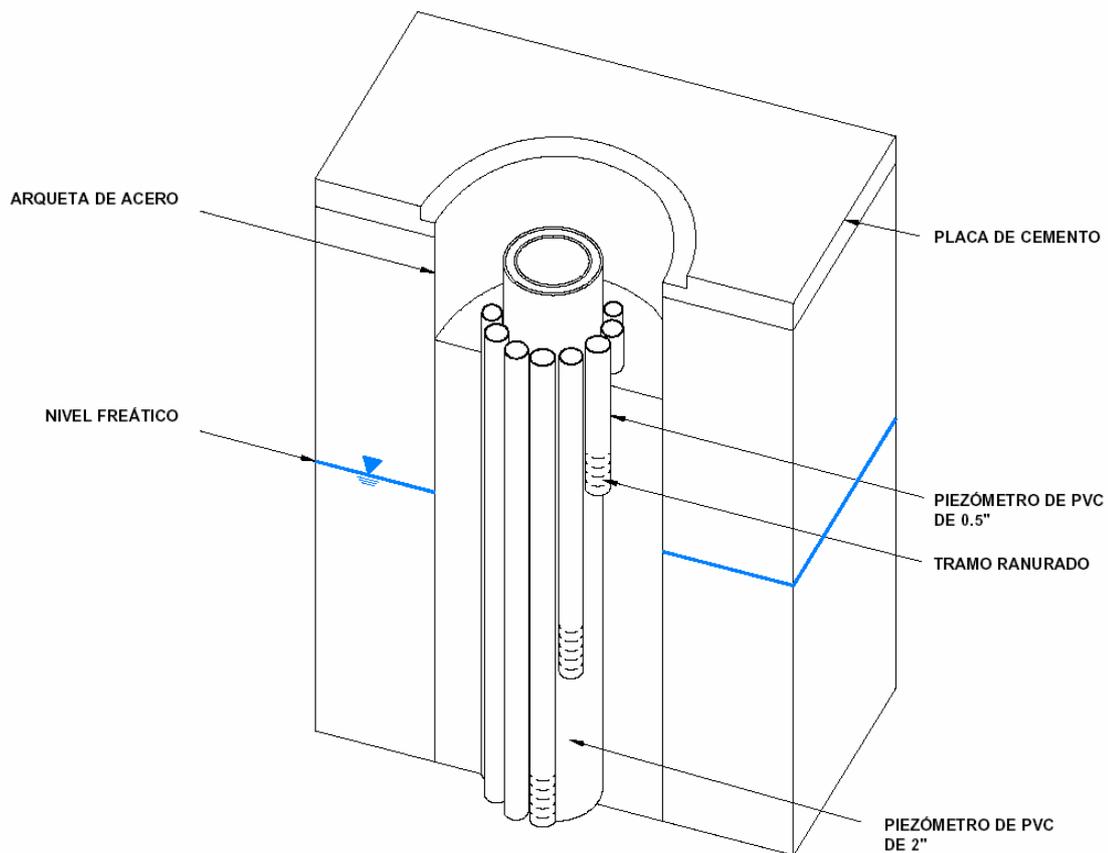
- Piezómetros de control en racimo
 - o Conjunto de piezómetros de control individuales situados en una superficie reducida. Cada uno de los puntos se instala a diferentes profundidades, con el tramo de rejilla (filtro) ajustado a distintos niveles (acuíferos multi-capa) o profundidades dentro del mismo nivel. De esta manera, en una zona concreta del emplazamiento o instalación, se consigue un control discreto en la vertical a diferentes profundidades (p.e. valorar la penetración de una pluma residual de contaminantes disueltos, que puede quedar limitada al tramo superficial del acuífero).



Esquema 3. Esquema conceptual de un sistema de control de piezómetros en racimo

- Piezómetros de control anidados

- El esquema conceptual es similar al de los piezómetros en racimo, aunque en este caso los diferentes piezómetros se instalan dentro de un mismo taladro de perforación.
- El diámetro de la perforación debe ajustarse al número de piezómetros de control que se pretenda instalar y al diámetro de los mismos.
- La disposición de los piezómetros de control en la misma perforación hace fundamental las tareas de sellado del espacio anular de la perforación entre las distintas zonas de captación (tramos de rejilla).



Esquema 4. Esquema conceptual de un sistema de control de piezómetros anidados

A continuación se muestra un ejemplo real de diseño y ejecución de una red de control y seguimiento en un emplazamiento ocupado por una estación de servicio, actividad vinculada al almacenamiento y venta de combustibles.

La instalación dispone de un total de cuatro depósitos enterrados para el almacenamiento de gasolinas y gasóleos, conectados a los puntos de suministro (surtidores) mediante un sistema de tuberías enterradas de aspiración. La instalación está dotada de las adecuadas medidas de protección para una instalación de sus características, destacando la existencia de un pavimento resistente a hidrocarburos que ocupa la totalidad de la zona de pista, una red separativa de recogida de aguas pluviales e hidrocarbурadas, un separador de hidrocarburos para el tratamiento de aguas hidrocarbурadas y el empleo de depósitos de combustible contruidos en acero de doble pared con sistema automático de detección de fugas.

En una fecha concreta, comienzan a registrarse quejas relacionadas con la presencia de aguas hidrocarbурadas y acumulación de vapores en el colector de saneamiento que recoge las aguas de vertido de la instalación. En respuesta a este hecho, la estación de servicio lleva a cabo una inspección de sus instalaciones, identificándose una tubería de aspiración cuya prueba de estanqueidad resulta desfavorable, comprobándose la existencia de un poro y procediéndose a su reparación.

La situación planteada deriva en el diseño y ejecución de una Investigación del Subsuelo en el emplazamiento (fase exploratoria y detallada), con objeto de valorar el estado de calidad del subsuelo, delimitar el alcance de los contaminantes en los posibles medios afectados, determinar los posibles orígenes de la afección detectada en el colector municipal y caracterizar el emplazamiento de estudio de cara a una valoración del riesgo asociado.

En síntesis, la zona de estudio se considera de especial vulnerabilidad, encontrándose el emplazamiento dentro de un núcleo urbano, con presencia de viviendas próximas que disponen de captaciones de agua subterránea destinadas a diversos fines. Asimismo, se comprueba la existencia de un nivel somero de agua subterránea, explotado por algunas de las captaciones identificadas. La litología del terreno se caracteriza por una sucesión de materiales de relleno y niveles de textura arenosa predominante, resultado de la alteración de un sustrato rocoso subyacente.

La ejecución de una primera campaña de sondeos de investigación, acondicionados como piezómetros, permite valorar el estado del subsuelo en profundidad, proceder al muestreo de los diferentes medios afectados (suelos y aguas subterráneas) y adecuar unos puntos de control para registrar la piezometría de la zona y determinar los parámetros hidráulicos básicos del acuífero atravesado.

Como resultado de la fase de investigación, se concluye la existencia de una afección por hidrocarburos en el subsuelo del emplazamiento, tanto en los suelos como en las aguas subterráneas. El origen de la misma parece estar relacionado con la tubería de aspiración reparada, comprobándose una movilización de la pluma a favor de la dirección predominante del flujo subterráneo local, en la cuál se sitúa el colector municipal afectado.

A partir de los datos obtenidos en la etapa de investigación, se llevó a cabo un Análisis Cuantitativo de Riesgos con objeto de determinar el riesgo potencial para la salud humana derivado de la afección detectada en el emplazamiento, así como el establecimiento de unos niveles de concentración residual máxima admisible para los contaminantes de interés que sirvan de referencia para el diseño de las estrategias correctoras y de gestión del riesgo que puedan desarrollarse en el emplazamiento. Los resultados del Análisis Cuantitativo de Riesgos determinaron un nivel de riesgo no aceptable para la vía de ingestión de aguas subterráneas por parte de los usuarios de los diferentes pozos localizados en el entorno inmediato.

Las conclusiones del Análisis Cuantitativo de Riesgos justificaron la puesta en marcha de actuaciones correctoras, diseñándose un sistema de remediación in-situ basado en técnicas de alto vacío con dos módulos de tratamiento independientes. El primero de ellos se conectó a la red de piezómetros existente, ampliándola hasta disponer de un total de 14 piezómetros dispuestos en diferentes sectores críticos del emplazamiento con objeto de reducir las concentraciones de los contaminantes de interés por debajo de los objetivos fijados. El segundo módulo de tratamiento se conectó a una barrera física con 8 piezómetros adicionales instalados, construida a lo largo del perímetro N-NO del emplazamiento y con objeto de controlar la migración de la pluma de contaminantes aguas abajo, y potenciar el confinamiento de la misma dentro de la zona de actuación de la remediación.

La etapa de remediación tuvo una duración de 3 años, alcanzándose los objetivos fijados. Durante este periodo, basándose en la caracterización medioambiental y resultados de las etapas previas, se llevó de forma paralela un control y seguimiento de las aguas subterráneas, disponiendo para ello de una red de control integrada por los siguientes puntos:

- Red de 14 piezómetros instalada en la estación de servicio, permitiendo cubrir el entorno inmediato al foco de afección identificado, otros potenciales focos de la instalación mecánica, y el estado de las aguas subterráneas en los límites del emplazamiento y en el entorno inmediato al edificio auxiliar de la instalación, punto de especial interés por el riesgo potencial de acumulación de volátiles en su interior.
- Red de 8 pozos instalados en el interior de la barrera física, permitiendo evaluar el correcto control sobre la pluma residual de contaminantes y detectar posibles repuntes o nuevos aportes.
- Selección de 5 captaciones de agua subterránea del conjunto de pozos localizados en el entorno inmediato al emplazamiento, localizadas en fincas privadas. Estos puntos constituyen indicadores directos del estado de las aguas subterráneas susceptibles de ser explotadas en estas captaciones, y sobre las cuáles se han determinado unos objetivos de calidad de acuerdo a los resultados del Análisis Cuantitativo de Riesgos. Dos de los puntos seleccionados se localizaban aguas arriba del emplazamiento de acuerdo al flujo local subterráneo, y los tres restantes aguas abajo.
- Red de arquetas de registro del colector municipal a su paso por los viales perimetrales al emplazamiento, permitiendo un control directo de esta canalización.

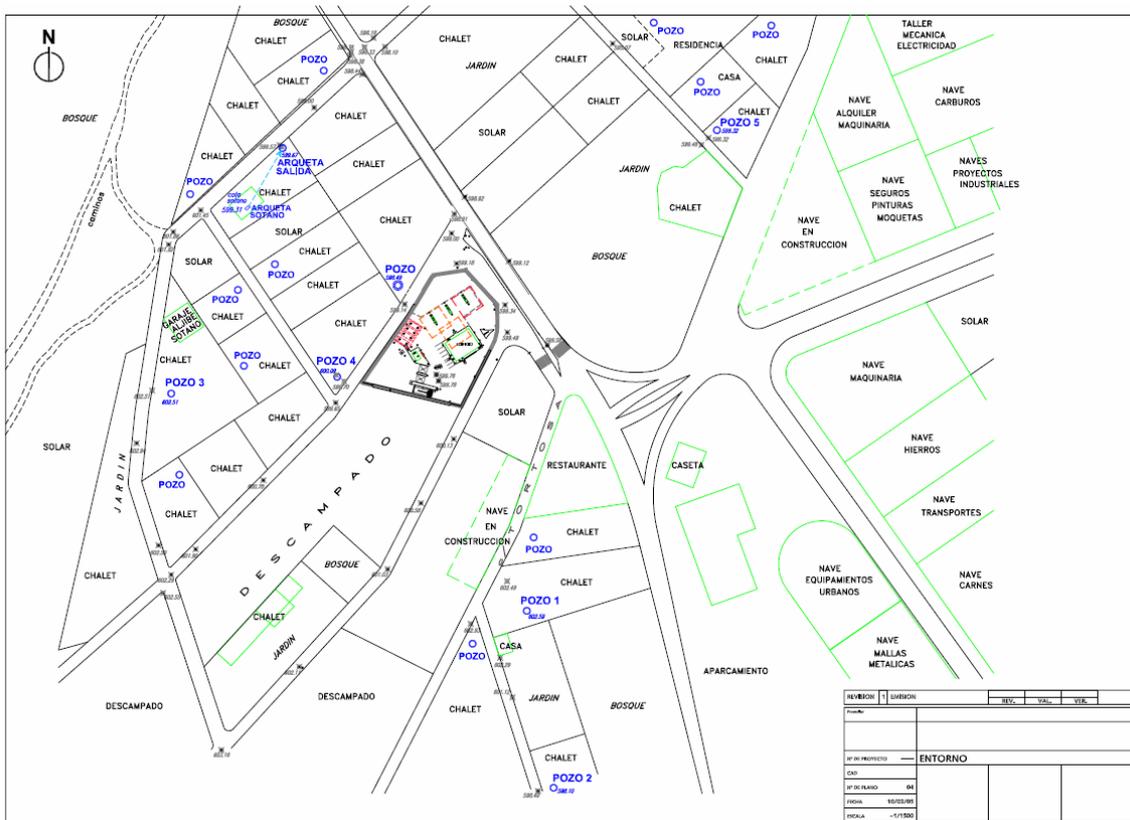


Figura 6.4. Entorno del emplazamiento de estudio

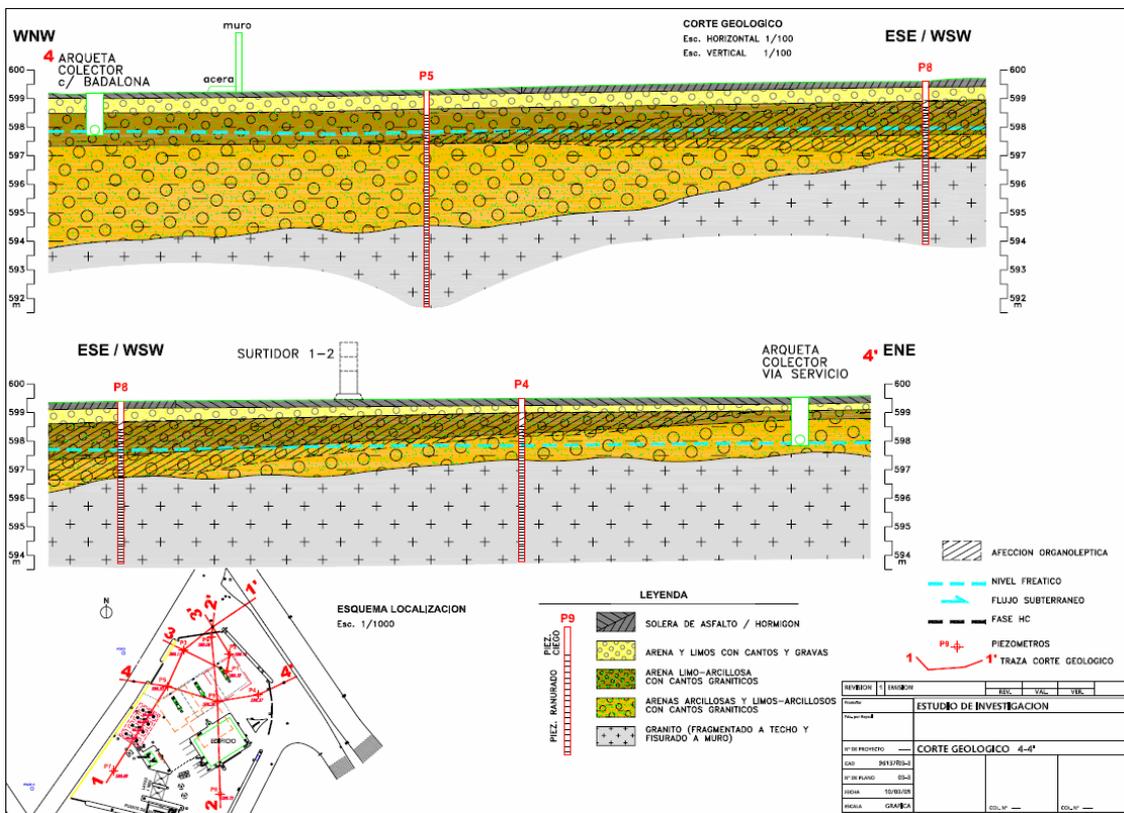


Figura 6.5. Detalle de un perfil litológico transversal de la zona de estudio

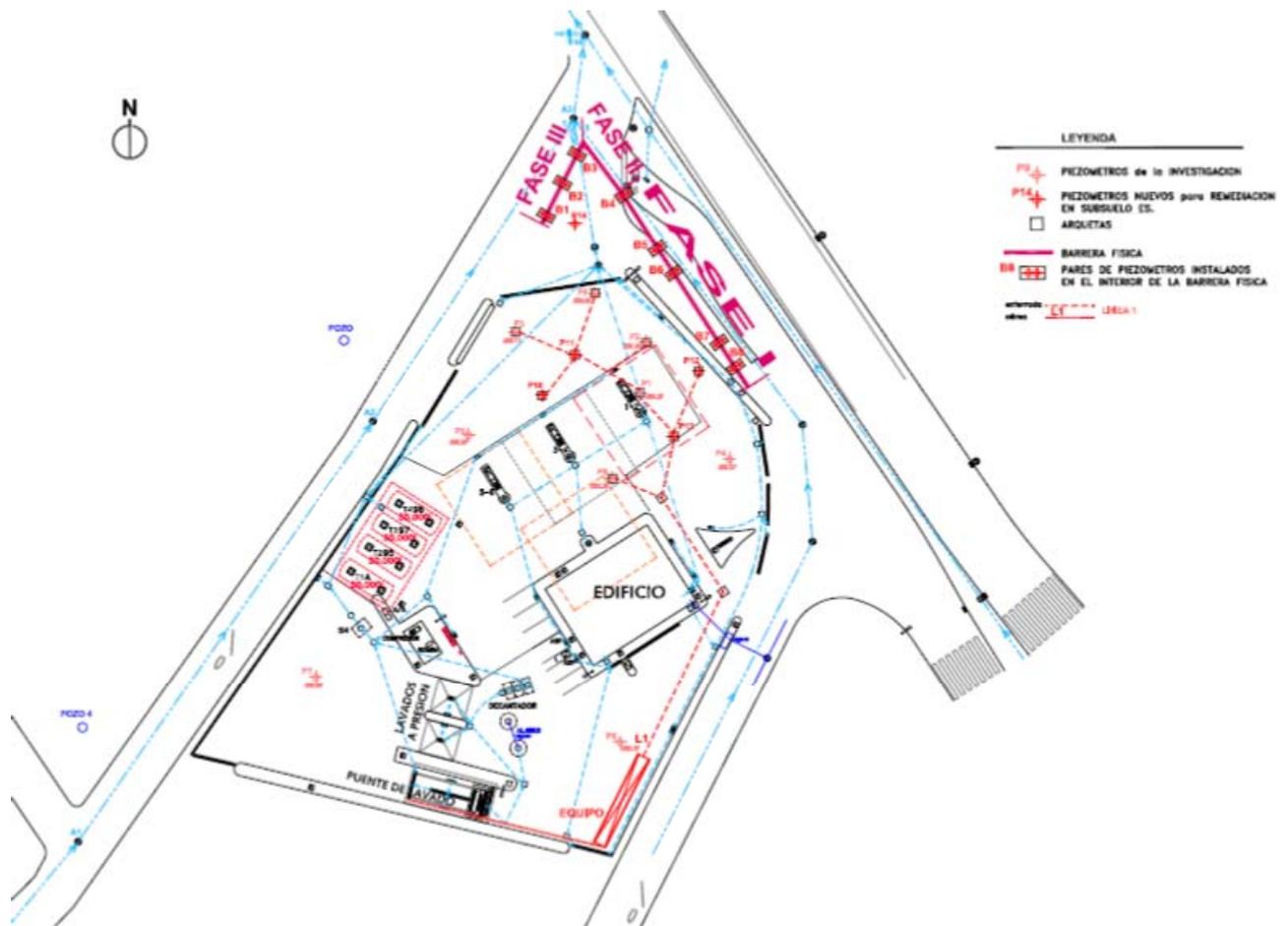


Figura 6.6. Detalle de la red de dispositivos de control y seguimiento instalados en el emplazamiento

6.4.4 Mantenimiento y rehabilitación de puntos de control y/o monitoreo

Con la finalidad de reducir el impacto sobre el suelo, minimizar el riesgo de conexión de distintos niveles acuíferos o de fenómenos de contaminación cruzada, así como reducir costes y empleo de recursos, el proyecto de control y seguimiento deberá valorar el empleo, como puntos de control, de infraestructuras y dispositivos ya existentes en la instalación o emplazamiento.

En este sentido, numerosas actuaciones de recuperación de suelos y aguas subterráneas están basadas en tecnologías de bombeo y tratamiento, referidas en la literatura anglosajona como *pump-and-treat systems*. Estos sistemas se caracterizan por el empleo de una red de pozos divididos en dos categorías fundamentales:

- Pozos de operación o remediación. Localizados en zonas activas del emplazamiento donde actúa el sistema de remediación, estando generalmente en contacto directo con la pluma de contaminantes o en el propio foco de afección.
- Pozos de monitoreo. Dispositivos perimetrales a las zonas activas de actuación, diseñados para determinar niveles de fondo de los contaminantes de interés en áreas del subsuelo no alteradas (p.e. puntos de control aguas arriba), valorar la efectividad del sistema de recuperación puesto en marcha (p.e. piezómetros de monitoreo perimetrales a una barrera física de contención) o disponer de una red de protección y vigilancia en áreas especialmente vulnerables por la presencia de receptores o zonas protegidas (p.e. piezómetros de monitoreo en la dirección de una zona de captación de aguas subterráneas o de un curso superficial de agua).

En ocasiones, el diseño específico de un pozo de operación o remediación puede ser incompatible con su empleo posterior como punto de control y seguimiento, bien por su localización no satisfactoria, bien porque el tipo de construcción no se ajuste al tramo del subsuelo que se pretende controlar (p.e. pozo de extracción de vapores que no alcance la zona saturada del subsuelo). Por ello, son varios los factores que deben evaluarse para incluir estos puntos dentro de la red de control y seguimiento:

- Conocimiento del tipo de instalación del piezómetro (tramos ciegos y de rejilla, tramos sellados, etc.) y material empleado en la entubación.
- Diámetro compatible con los equipos de medición y muestreo a emplear.
- Estado de conservación del pozo. Fenómenos como la deposición de finos en el interior de la tubería o procesos de incrustación/corrosión pueden inutilizar la operatividad de la captación o hacer necesario determinadas actuaciones de limpieza/recuperación (p.e. sustitución o limpieza de tubería, desarrollo del pozo mediante bombeo intermitente, inyección de aire, etc.).
- Uso original del piezómetro. En determinados sistemas físico-químicos de recuperación, la adición de reactivos o el efecto derivado de reacciones que se hayan producido pueden resultar en un deterioro progresivo de la captación (p.e. deformación del tramo de filtro de tuberías de PVC por efecto de la temperatura).
- Ausencia de dispositivos instalados en la captación que puedan interferir en los trabajos de seguimiento y control (p.e. instalación de bombas sumergidas).
- Accesibilidad a la captación. En piezómetros cuya boca queda a nivel de suelo, la arqueta de registro debe disponer de una tapa en correcto estado de conservación que permita su apertura y garantice la estanqueidad de la misma; el interior de la arqueta debe encontrarse igualmente en condiciones limpias,

manteniendo las características de obra (p.e. estanqueidad) y ausente de elementos residuales de los trabajos de recuperación que puedan causar fenómenos de contaminación cruzada o interferir con los equipos de medición y muestreo. En piezómetros cuya boca se encuentra por encima del nivel del suelo, el tramo superficial debe estar en correcto estado de mantenimiento, sin roturas ni aplastamientos, debidamente protegido e identificado.

- Las captaciones deben disponer de un cierre hermético en la parte superior del tubo que impida la filtración al interior de la captación de cualquier contaminante.

En la fase de proyecto de la red de control y seguimiento, deberá incluirse una memoria de las captaciones existentes previstas de ser incorporadas a la red, una descripción de sus características, justificación de su empleo dentro de la red de control y descripción de las actuaciones de rehabilitación y mejora (p.e. acondicionamiento de arquetas, extracción de bombas, instalación de tubería piezométrica, etc.) para garantizar la aptitud de la captación como punto de control y seguimiento.

6.4.5 Reposición o ejecución de nuevos puntos de control

A la hora de diseñar una red de control y seguimiento, puede que se disponga de infraestructuras previas que permitan su aprovechamiento total o parcial. En otras ocasiones, no se dispone de captaciones operativas y se hace necesaria la instalación de nuevos puntos de control para implementar la red. Ejemplos de estas situaciones se exponen a continuación:

- Ausencia de piezómetros o pozos de control (p.e. sellado de todas las captaciones tras la finalización de una actuación de recuperación).
- Pérdida de piezómetros o pozos de control (p.e. realización de obras).
- Piezómetros deteriorados no susceptibles de recuperación.
- Identificación de zonas vulnerables en las cuáles no se dispone de puntos de control.
- Incertidumbre sobre las características constructivas y de diseño de una captación existente, limitando la validez de los datos obtenidos.

En caso de ser necesaria la construcción de un nuevo piezómetro de control, es crucial una clara definición de los objetivos que se persiguen con la instalación de este punto. Para ello, la propuesta de un nuevo punto de control debe ir precedida de un detallado análisis de toda la información previa disponible acerca del emplazamiento en cuestión,

tal y como se indicó en el apartado 6.4.3 “Tipos de puntos de control” (estudio histórico, conocimiento modelo conceptual del emplazamiento, contaminantes presentes, actuaciones de recuperación llevadas a cabo, etc.). Adicionalmente, deberán tenerse en consideración aspectos administrativos y de operación, tales como la solicitud de permisos y/o licencias, detección de servicios enterrados, elaboración de un plan de seguridad, comunicación a la administración competente u organismo ambiental si procede, etc.

La memoria de construcción del piezómetro de control debe recoger una descripción de las diferentes fases del proceso de construcción y acondicionamiento de la captación. La Guía de Investigación de la Calidad del Suelo de la Comunidad de Madrid recoge una síntesis de los métodos de perforación comúnmente empleados, así como de los materiales utilizados en el acondicionamiento de los piezómetros de control de las aguas subterráneas. Por este motivo, el presente documento se concentrará en aportar una serie de aspectos complementarios a considerar en el diseño y ejecución de cada una de las fases siguientes:

- Fase de perforación.
 - o Tipo de sistema de perforación condicionado por las características geológicas, profundidad de la captación, necesidad de recuperación de testigo continuo, presupuesto, etc.
 - o Los diámetros comúnmente empleados son inferiores a 170 mm, empleándose normalmente 110 mm. A mayor diámetro, los costes de la perforación y de la fase de entubado son mayores. La elección del diámetro correcto debe tener en cuenta el uso futuro del piezómetro de control (p.e. medición de niveles, realización de ensayos hidráulicos, etc.) así como las dimensiones de los equipos de medición, bombeo o muestreo a emplear.

- Fase de limpieza de la perforación.
 - o Eliminación de materiales residuales resultantes del proceso de perforación y recuperación, en la medida de lo posible, de las características estructurales originales del terreno natural en el entorno inmediato a la perforación.
 - o Diversos sistemas de limpieza en continuo mediante la batería de perforación, con aire a alta presión, mediante inyección de agua o lodos, etc.

- Gestión adecuada del detritus resultante de estas operaciones de limpieza.
- Diseño de la instalación y equipamiento de la tubería piezométrica o entubado.
 - Empleo habitual de tubos de PVC.
 - Diámetros de entubado entre 1'' y 4''.
 - Colocación de filtro de gravas para evitar el arrastre de finos al interior del piezómetro (colmatación) o la incrustación en el tramo de rejilla.
 - Bombeo de desarrollo para la limpieza de la captación.
 - Evitar tramos de rejilla muy largos que permitan la comunicación de tramos de acuíferos con cargas hidráulicas diferentes. El diseño de las zonas de admisión debe ajustarse al nivel/es que se pretender controlar o muestrear a través del punto de control.
 - Empleo de bentonita o lechada de cemento para el sellado del anular del sondeo fuera de la zona de admisión (zonas no productoras).
- Fase de protección y acabado final.
 - Debe facilitar una correcta identificación y operatividad del piezómetro.
 - Instalación de tapas de cierre herméticas, impidiendo el acceso al piezómetro de personas no autorizadas y la entrada de agua, elementos sólidos o contaminantes.
 - En piezómetros acabados por encima del nivel de suelo, el tramo sobresaliente se protegerá mediante un tubo de protección, preferentemente de acero inoxidable. En zonas con circulación de maquinaria o vehículos, puede ser necesario la instalación de bolardos perimetrales que protejan la captación de golpes y choques.
 - En piezómetros acabados por debajo del nivel de suelo, la tapa de cierre irá acondicionada en un arqueta de registro, apta para el tráfico de vehículos pesados en aquellos casos en que sea necesario. El tipo de arqueta (hormigón, fundición, polietileno, etc.) deberá permitir una correcta estanqueidad, adecuada accesibilidad al piezómetro e introducción de los elementos de medición y muestreo a emplear.
 - Es recomendable que la superficie inmediata al piezómetro disponga de un sello de cemento u hormigón que se extienda 10-15 cm desde los límites de la arqueta de registro, con una pendiente hacia fuera de la arqueta que evite la acumulación de aguas de escorrentía.

6.4.6 Abandono definitivo y sellado de pozos no integrados en la red de control y seguimiento.

El sellado y abandono definitivo de una captación es consecuencia, generalmente, de la superación del periodo operativo del pozo o piezómetro, resultando en un deterioro de los materiales que pueden incluso ocasionar un riesgo de contaminación a las aguas subterráneas. En otros casos, la rotura de la tubería o, simplemente, el cese del uso del piezómetro para el cuál estaba diseñado, son motivos que pueden justificar el abandono de la captación.

El sellado efectivo de un piezómetro o captación debe prevenir la percolación de aguas superficiales y/o posibles contaminantes a través del propio entubado o del espacio anular, el acceso no autorizado a la captación, así como impedir la conexión de diferentes niveles acuíferos.

Básicamente, el proyecto de sellado debe incluir las siguientes etapas:

- Localización precisa del punto (empleo de planos, coordenadas, etc.).
- Descripción de la captación: profundidad, tramos de rejilla, diámetro, profundidad del nivel freático, etc.
- Descripción del método de sellado
 - o Cementado de la columna con mortero.
 - o Empleo de lechadas de bentonita-cemento-agua.
 - o Relleno con arenas desinfectadas y acabado del primer metro con cemento.
 - o Necesidad de bombeo para deprimir el nivel freático y facilitar la inyección y sellado.
 - o Método de inyección a emplear: directa, tubería de inyección, bomba, etc.

6.5 Proceso de tomas de muestras

El proceso de toma de muestras constituye una de las partes fundamentales de un Plan de Control y Seguimiento de un emplazamiento.

La toma de muestras o muestreo es el procedimiento mediante el cual se obtiene una parte representativa del elemento o población que se quiere estudiar, es decir, una parte que refleje adecuadamente las propiedades de interés de dicho elemento (en este caso

las aguas subterráneas y/o los gases del subsuelo). Dicha representatividad se debe mantener hasta el momento en que se realice el análisis de la muestra, por lo que el proceso de toma de muestras debe incluir la forma adecuada de proceder en etapas posteriores a la propia toma de muestras como por ejemplo el transporte, almacenamiento, etc. Si la representatividad de la muestra no está asegurada, los resultados que se obtengan a partir de la misma no tendrán validez. Uno de los problemas de la toma de muestras es que no se puede recomendar una manera única para obtener una muestra representativa, por lo que el procedimiento se deberá ajustar a cada caso particular, si bien es cierto que hay una serie de directrices comunes que aseguran un modo de proceder correcto.

En la actualidad existen numerosos protocolos de muestreo desarrollados por diversos organismos. Entre ellos cabe mencionar los siguientes:

- ISO 5667. Water quality – Sampling
- ISO 10381-7: 2005. Soil quality – Sampling – Part 7. Guidance on sampling of soil gas
- DIN 38402 – German Standard methods for the examination of water, waste water and sludge – General Information
- ASTM D5903-96 (2006). Standard Guide for Planning and Preparing for a Groundwater Sampling Event
- ASTM D6452-99 (2005). Standard Guide for Purging Methods for Wells Used for Groundwater Quality Investigations
- ASTM D4448-01 (2007). Standard Guide for Sampling Groundwater Monitoring Wells
- ASTM D5314-92 e1. Standard Guide for Soil Gas Monitoring in the Vadose Zone

Independientemente del proceso del que surja la necesidad de un Plan de Control y Seguimiento, éste debe cubrir una serie de aspectos que son comunes a todos los emplazamientos en relación con la toma de muestras. Estos aspectos se pueden agrupar en tres grandes apartados:

- Programa de Muestreo
- Programa Analítico
- Programa de Garantía de la Calidad

Estos tres apartados están íntimamente relacionados entre sí, y se deben tener en cuenta de manera simultánea durante la planificación de la toma de muestras. Así mismo, el proceso de toma de muestras debe ser un proceso sujeto a cambios ya que siempre es posible que surjan imprevistos durante la ejecución no contemplados inicialmente, y que necesariamente se deberán valorar e incorporar en toma de muestras posteriores. A continuación se exponen de una forma general los aspectos a tener en cuenta, aunque para cada caso concreto habrá que extraer las recomendaciones más adecuadas.

6.5.1 Programa de muestreo

En el programa de muestreo debe quedar reflejado cómo se va a realizar la toma de muestras y todos los demás procesos asociados. El programa de muestreo consta de una etapa inicial de trabajo de gabinete en la que se elabora el propio programa, seguida de una etapa de implantación práctica. Dentro del programa de muestreo se pueden distinguir tres grandes subapartados:

- Objetivos del programa de muestreo
- Diseño del programa de muestreo
- Medidas de Seguridad e Higiene

6.5.1.1 Objetivos del programa de muestreo

Los objetivos del programa de muestreo condicionan todo el trabajo posterior. Los objetivos variarán en función de la tipología del emplazamiento en relación con un proceso de potencial contaminación del suelo y de sus características específicas, tanto intrínsecas, como del entorno en el que se encuentra, es decir, del modelo conceptual elaborado a partir de los trabajos previos. Así, de forma general, en cuanto a la tipología del emplazamiento, los objetivos del muestreo son los siguientes:

- Comprobar que la afección del subsuelo sigue sin ser significativa
- Comprobar que los niveles de afección siguen suponiendo un nivel de riesgo aceptable
- Comprobar que las medidas de recuperación y/o contención implantadas son efectivas
- Comprobar que los niveles de afección se han reducido hasta alcanzar los valores objetivo

Por tanto, los objetivos del plan de muestreo se definirán específicamente para cada emplazamiento a partir de la información recabada en los trabajos previos llevados a cabo en el mismo, lo cual condicionará otros aspectos del programa de muestreo, como por ejemplo, el número y ubicación de los puntos de control.

6.5.1.2 Diseño del programa de muestreo

Constituye el núcleo principal del programa de muestreo y en su elaboración hay que tener en cuenta un gran número de aspectos:

6.5.1.2.1 Selección de los puntos de control: número y distribución

El número de puntos de control estará condicionado fundamentalmente por la superficie del emplazamiento, por el modelo conceptual elaborado previamente y por el grado de detalle que se quiera alcanzar. En general el número de puntos de control a tener en cuenta en el seguimiento dependerá de los siguientes criterios:

- Vulnerabilidad del medio. A mayor vulnerabilidad del medio mayor número de puntos de control. La vulnerabilidad del medio depende básicamente de la posición del nivel freático, de la permeabilidad, y de las distancias a captaciones o aguas superficiales. De este modo, a mayor número de captaciones de agua subterránea en el entorno y mayor permeabilidad del terreno, mayor vulnerabilidad del medio y mayor número de puntos de control a seleccionar.
- Focos primarios. A mayor número de potenciales focos en las instalaciones mayor número de puntos de control.
- Receptores. A mayor número de potenciales receptores de una contaminación mayor número de puntos de control.

Respecto a la ubicación de estos puntos, lo habitual será que no sea necesario implantar o ejecutar nuevos puntos de control, sino que se seleccionarán entre todos los puntos de muestreo definidos en los trabajos previos, aquellos que sean útiles para alcanzar los objetivos del plan de control. En este sentido, ejemplos de criterios que se pueden tener en cuenta en la selección de los puntos de control son los siguientes:

- puntos situados aguas arriba del emplazamiento o de los potenciales focos de afección según el flujo de las aguas subterráneas, con el fin de obtener los valores de fondo de los parámetros analizados o detectar una potencial afección procedente de fuera del emplazamiento.
- puntos que cubran de forma homogénea la totalidad del emplazamiento o partes con características similares.
- puntos situados en el entorno inmediato de los potenciales focos de afección, con el fin de detectar posibles nuevos episodios de contaminación.
- puntos situados en la pluma de contaminación, con el fin de observar su evolución.
- puntos que informen con antelación sobre la llegada de contaminantes a potenciales puntos de exposición, tales como pozos de abastecimiento, cursos de agua superficial, zonas con capacidad de acumulación de gases, etc..
- puntos situados en los límites del emplazamiento, con el fin de detectar una migración de contaminantes fuera del mismo.

En la selección de los puntos también se deberán tener en cuenta factores como la accesibilidad, la existencia de áreas restringidas al muestreo (física o legalmente), la necesidad de permisos, etc.

Una vez seleccionados los puntos, estos deberán quedar reflejados de forma inequívoca en un plano del emplazamiento, para posibilitar su localización.

6.5.1.2.2 Selección de la frecuencia de muestreo

En cuanto a la frecuencia de muestreo, de forma general, ésta será tal que:

- permita detectar de forma temprana un nuevo episodio de contaminación, antes de que dicha afección pueda alcanzar potenciales puntos de exposición en el emplazamiento o en su entorno. A este respecto, en el caso de las aguas subterráneas, habrá que tener en cuenta la capacidad de movilización de las mismas y estimar el tiempo que puede tardar un contaminante en alcanzar dichos puntos de exposición, estableciendo frecuencias de muestreo inferiores al mismo.
- permita observar de forma adecuada una evolución de los parámetros analizados sin que ello suponga unos costes analíticos innecesarios.
- permita observar alteraciones de los parámetros analizados debidas a variaciones temporales, o bien, dicho de otra manera, que permita descartar que una alteración

de los parámetros analizados se deba a dichas variaciones. Hay que tener en cuenta que estas variaciones temporales pueden tener un origen natural, como las estacionales o las mareales, o un origen antrópico, como las debidas al riego de campos de cultivo, a la regulación de los cauces, etc.

Se expone a continuación una tabla en la cual se indica la periodicidad del muestreo de la red de control, en función de la distancia a los potenciales receptores. La procedencia y desarrollo técnico de dicha periodicidad viene expuesto en el anexo I.

Tabla 6.1. Periodicidad muestreo red de control (meses)
DISTANCIA AL RECEPTOR (metros)

CASO	50	100	150	200	250	300
A	1	1	2	2	3	3
B	1	2	3	3	4	5
C	1	2	3	3	4	5
D	1	2	3	4	5	6

A: Emplazamientos en proceso de descontaminación.

B: Emplazamientos descontaminados.

C: Emplazamientos con indicios de afección.

D: Emplazamientos con alta vulnerabilidad.

Se recomienda que aunque la distancia sea mayor a 300 m no se aumente el plazo de muestreo indicado para ese caso. Estos cálculos son simplificados y sólo sirven para ilustrar casos medios desde un punto de vista conservador. Por lo tanto, lo recomendable es, en cada caso particular, estudiar y justificar adecuadamente la periodicidad del muestreo en función de la distancia entre el punto de muestreo y el punto de exposición.

6.5.1.2.3 Tipo de muestra a tomar

De modo general, los tipos de muestras se pueden dividir en simples o compuestas. Las muestras simples aportan información de la variabilidad del lote de muestras o de los puntos con muy alta o muy baja concentración. Con las muestras compuestas se reduce la cantidad de muestras a analizar disminuyendo los costes y tiempo del muestreo y análisis, y se obtiene una estimación media del analito objeto de estudio.

En los Planes de Control y Seguimiento donde se han seleccionado previamente determinados puntos de control como indicadores de la evolución del subsuelo, se recurrirá a muestras simples. Especialmente en el caso de análisis de compuestos

volátiles en muestras de agua, no es recomendable la elaboración de muestras compuestas, ya que una parte importante de los compuestos se puede perder durante la homogeneización.

En los piezómetros para el control de las aguas subterráneas o en los captadores de vapor para el control de los gases del subsuelo, se suelen dar fenómenos de estratificación, es decir, en un mismo punto de muestreo pueden existir grandes diferencias en la composición del agua o del gas en función de la profundidad. Estas diferencias también pueden darse en el caso de las aguas por las características constructivas del piezómetro y el tiempo transcurrido desde el último bombeo. Por tanto, si se quiere obtener información de la distribución vertical de la contaminación en un punto de muestreo determinado se deberán tomar muestras por estratos, cuidando que la muestra que se tome sea representativa del estrato que se quiere identificar. En este sentido habrá que conocer cómo está construido el piezómetro, es decir, profundidad, tramos ranurados, tramos taponados y empaque de grava. Para las aguas subterráneas, según el tipo de acuífero y la construcción del piezómetro, pueden darse los siguientes casos:

- piezómetro que atraviesa un único nivel acuífero, ranurado en toda su extensión: el agua procede de todo el sistema y no es posible coger muestras selectivas.
- piezómetro que atraviesa un único nivel acuífero, ranurado en un tramo: el agua procede del tramo ranurado y de los superiores.
- piezómetro que atraviesa varios niveles acuíferos no aislados entre si y ranurado en toda su extensión: el agua procede de todos los niveles y no es posible coger muestras selectivas.
- piezómetro que atraviesa varios niveles acuíferos aislados entre si mediante cementación y ranurado en toda su extensión: los niveles pueden aislarse mediante obturadores, siendo posible así coger muestras selectivas

6.5.1.2.4 *Tamaño de la muestra*

El volumen de muestra a tomar, ya sea líquida o gaseosa, depende fundamentalmente de los siguientes factores:

- número de parámetros a analizar
- tipo de parámetros a analizar
- límite de detección que se quiere alcanzar con la técnica analítica empleada

- necesidad de guardar muestras de contraste

Normalmente, cuanto mayor sea el número de parámetros a analizar, más cantidad de muestra se necesitará. Cuando los contaminantes a analizar son de distinta naturaleza suele ser necesario tomar la muestra en recipientes de diferente material, lo que puede incrementar el volumen de muestra a tomar. En el caso de los límites de detección, cuanto más exactitud se requiera mayor volumen de muestra se necesitará. En determinadas ocasiones, por imperativo legal, puede ser necesario tomar las muestras por triplicado: una para el laboratorio que haga el análisis, una segunda para el solicitante de los análisis, y una tercera para análisis de contraste frente a disconformidades. En estos casos, es fundamental una correcta homogeneización de las tres partes para evitar discrepancias en los resultados.

Habitualmente con un litro de muestra (líquida o gaseosa) suele ser suficiente para realizar las analíticas más comunes aunque es recomendable tomar un volumen mínimo suficiente como para efectuar dos ensayos de un mismo análisis, y en cualquier caso, consultar al laboratorio que vaya a realizar los análisis.

6.5.1.2.5 Técnicas y equipos de muestreo

Las técnicas y equipos de muestreo a utilizar dependen del estado físico de la muestra y de los parámetros a analizar. El requisito fundamental que deben cumplir es que alteren, en la menor medida posible, las características de la muestra; alteraciones, que en la mayor parte de los casos, se deben a procesos de aireación y desgasificación.

Entre los equipos y el material auxiliar con que se debe contar para realizar el muestreo se encuentran los siguientes:

- Equipo de medida del nivel de agua. Cuando se tome una muestra de agua se medirá la profundidad del nivel piezométrico con el fin de observar la dirección del flujo subterráneo y posibles fluctuaciones del nivel, que puedan explicar variaciones en los valores de los parámetros a medir.
- Dispositivos para tomar muestras de líquidos. Pueden ser jeringas, bailers, bombas, lisímetros, muestreadores Kemmerer para muestras de agua a una determinada profundidad, etc. Los sistemas de muestreo, tanto manuales como mecánicos, son muy variados. La elección de uno u otro dependerá de los objetivos de la campaña de muestreo y de la selectividad de la muestra que se quiera tomar.

- Dispositivos para tomar muestras de gases. Pueden ser sistemas activos como bombas, o sistemas pasivos, pudiéndose utilizar en ambos casos recipientes en los que se almacena directamente el gas (como bolsas tipo tedlar), o filtros o adsorbentes en los que se retiene selectivamente la sustancia a medir (como tubos de carbono activo).
- Equipos portátiles de medida de pH, conductividad, potencial redox, oxígeno disuelto y temperatura.
- Material auxiliar como guantes desechables, rollos de papel, cinta adhesiva, cuerdas, bolsas para los desechos, equipos de limpieza, patrones de calibración de los equipos que lo necesiten, filtros, etc.

A continuación se muestran varias fotografías de algunos de los materiales necesarios para la realización del muestreo.



Foto 1. Sonda de nivel



Foto 2. Toma muestras de agua tipo bailer



Foto 3. Bomba eléctrica sumergible



Foto 4. Bolsa Tedlar para muestreo de gases



Foto 5. Tubo de carbono activo para muestras de gases

Cuando se realice el muestreo de las aguas subterráneas de una red de piezómetros se seguirá, de forma general, el siguiente procedimiento:

- Se seguirá una secuencia empezando por los puntos menos contaminados y finalizando por los más afectados.
- Se medirá la profundidad del nivel agua, cuidando de que la sonda de nivel esté perfectamente limpia.
- Se realizará la purga del piezómetro con el fin de desalojar el agua acumulada en el interior del mismo, ya que puede no ser representativa del agua existente en el acuífero. Simultáneamente se medirán in situ en el agua bombeada parámetros como el pH, conductividad, potencial redox, oxígeno disuelto y/o temperatura. Se recomienda bombear entre 3 y 10 veces el volumen de agua contenido en el piezómetro, pudiéndose dar como finalizada la purga cuando se establezca la lectura de parámetros anteriores. Cuando se sospeche que el agua del acuífero pueda estar contaminada, el agua de las purgas se deberá recoger para gestionarla adecuadamente como residuo.
- En acuíferos productivos, en los que el proceso de purga no conduce al agotamiento del piezómetro, se procederá a la toma de la muestra. En el caso de acuíferos poco productivos en los que se agota el nivel de agua, se esperará a que se recupere el nivel para tomar la muestra.

- Antes de tomar la muestra definitiva de agua, el recipiente y el tapón se enjuagarán tres veces con pequeñas porciones del agua del piezómetro. Estas porciones se desecharán junto con el agua del purgado.
- Para la toma de muestra se empleará la propia bomba con la que se ha realizado el purgado o bien tomamuestras desechables tipo bailer. De acuerdo con la Orden MAM/3207/2006, de 25 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción técnica complementaria MMA-EECC-1/06, sobre determinaciones químicas y microbiológicas para el análisis de aguas, como procedimiento general no se filtrará la muestra en campo, sino que el filtrado se realizará o no en el laboratorio en función de los parámetros a analizar. Al introducir la muestra en el recipiente se debe crear la menor turbulencia posible, con el fin de evitar la aireación y desgasificación. El recipiente de muestreo se llenará en su totalidad para evitar que se pueda producir la pérdida de compuestos volátiles durante el transporte y almacenamiento. En el caso de que se emplee material de muestreo reutilizable (bombas, tomamuestras, recipientes, etc.) este se deberá lavar según las recomendaciones de las normas existentes (ISO 5667-14 *Guidance on quality assurance of environmental water-sampling and handling*).

Para realizar el muestreo de los gases del subsuelo en una red de piezómetros se seguirá, de forma general, el siguiente procedimiento:

- Se utilizará preferentemente un método activo de muestreo utilizando una bomba manual. Dicha bomba irá conectada, por una parte, a una sonda (de teflón, preferentemente) que se introducirá hasta la profundidad de muestreo deseada, y por otra, a un dispositivo de almacenamiento del gas, que podrá ser una bolsa hermética tipo tedlar o tubos con agentes absorbentes. De manera general, se recomienda el uso de bolsas tedlar cuando se esperen concentraciones medias o altas del gas objetivo (a partir de 100 ppm). Cuando se trate de concentraciones bajas, se utilizarán preferentemente los tubos de absorción, siempre que existan tubos adecuados para el gas objetivo.
- Antes de iniciar el muestreo en un punto y de conectar el dispositivo de almacenamiento del gas, es necesario purgar el equipo de muestreo (bomba y mangueras de conexión), haciendo pasar aire limpio a su través.

- En pozos de pequeño diámetro con ranurado limitado, se recomienda una purga de 3 volúmenes del espacio del vacío, incluyendo el filtro del pozo. En pozos de gran diámetro o con ranurado extenso sólo se recomienda la purga del volumen de aire en los medios de muestreo.
- El caudal de bombeo recomendado se encuentra entre 200 y 1.000 cm³ por minuto, en función de la permeabilidad del terreno. En el caso de las bolsas tedlar, el muestreo se dará por finalizado cuando se haya llenado aproximadamente el 80% de la bolsa, es decir, cuando esté prácticamente llena pero no tensa. En el caso de los tubos, el tiempo de bombeo dependerá de la concentración esperada y de la capacidad del tubo, siendo el suficiente para obtener concentraciones medibles, pero cuidando de no alcanzar la saturación de la superficie de absorción. Tras la finalización, se procederá al sellado de los dos extremos del tubo y se anotará el tiempo de bombeo.
- Las muestras se etiquetarán adecuadamente y se enviarán para su análisis en el laboratorio. En el caso de las bolsas tedlar no se pegarán etiquetas ni se escribirá sobre las mismas con el fin de evitar la difusión de contaminantes.

En determinados casos puede ser conveniente recurrir a procedimientos especiales de muestreo, como por ejemplo, el enriquecimiento. Este se suele aplicar en el caso de muestras líquidas o de analitos volátiles en muestras líquidas (cuando la concentración del analito es pequeña, cuando el deterioro de la muestra es rápido o por comodidad en el manejo). Consiste en la transferencia del analito a un soporte sólido, como por ejemplo, resinas. En el caso de los gases, también se puede recurrir a un proceso similar, reteniendo los gases en soluciones por disolución o reacción química, adsorbiéndolos sobre sólidos (filtros, gel de sílice, carbono activo, resinas) o con trampas frías.

6.5.1.2.6 Recipientes de muestreo

Los recipientes de muestreo deben asegurar que la muestra no sufre modificaciones en su composición desde el momento del muestreo hasta que se analiza en el laboratorio. De este modo, en la elección del recipiente más adecuado se pueden tener en cuenta aspectos como los siguientes:

- que sea resistente frente a roturas.
- que aguante temperaturas extremas.

- que sea fácil de manejar.
- que tenga el volumen suficiente para realizar los análisis requeridos.
- que sea estanco, tanto para impedir la pérdida de muestra, como para evitar la contaminación por elementos externos.
- que sea inerte respecto al parámetro que se quiere medir, es decir, no debe reaccionar con la muestra, evitando también procesos de adsorción, absorción, volatilización, etc.
- que no permita la difusión de gases.
- que sea estéril, si se van a medir parámetros biológicos.
- que sean opacos, si los compuestos a analizar pueden verse modificados por la presencia de luz.

A continuación se presenta una foto con diferentes recipientes para el muestreo de aguas.



Foto 6. Diferentes recipientes de muestreo de aguas

En general, se recomienda la utilización de envases desechables. Respecto al material, puede ser muy variado. Así, se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- Polímeros: polifluorocarbonos, polietileno, polipropileno, PVC, silicona.
- Cerámicos: vidrio, borosilicato (cristal-pirex), porcelanas.
- Metálicos: platino, aluminio de elevada pureza y acero inoxidable.

Los envases de polímeros se suelen emplear para medir compuestos inorgánicos (aunque no son recomendables para mercurio y zinc), ya que la mayoría de ellos suelen ceder al agua sustancias orgánicas que interfieren en el análisis de compuestos de su misma naturaleza. Así mismo, la mayoría de ellos son permeables a los gases. Los recipientes más utilizados son los de polietileno, o bien los de polipropileno, si se requiere una especial precisión.

Los envases cerámicos y más concretamente los de vidrio se emplean para medir sustancias orgánicas. No son recomendables para medir sodio y sílice (en el caso del vidrio normal), ni para manganeso, plomo, zinc y arsénico (en el caso del pirex).

Los recipientes metálicos son recomendables en el caso de los gases, excepto para gases con componentes ácidos o elevado grado de humedad.

Para determinar el recipiente idóneo para cada parámetro se recomienda la consulta de la norma ISO 5667-3 (*Water quality – Sampling – Part 3: Guidance on the preservation and handling of water samples*).

6.5.1.2.7 Conservación de muestras

El plan de muestreo debe considerar la posibilidad de que las muestras se vean alteradas durante el proceso de transporte y almacenamiento posterior a la toma de muestras, y poner los medios para evitar o cuantificar dichas alteraciones mediante una adecuada conservación. Las alteraciones pueden deberse a procesos físicos, químicos o biológicos asociados a factores como el recipiente, a las condiciones de transporte o al almacenamiento. Algunos aspectos que hay que cuidar para evitar que se produzcan alteraciones son los siguientes:

- *Temperatura*: una elevada temperatura puede acelerar los procesos de volatilización, biodegradación o reactividad por lo que, en general, es recomendable conservar las muestras a 4°C. En casos específicos se pueden congelar, ya que así se frenan la mayoría de los procesos enzimáticos y de oxidación. La biodegradación también se puede evitar mediante esterilización, irradiación gamma o antisépticos, siempre que no introduzcan otro tipo de alteración significativa en la muestra.

- *Luz*: la luz puede dar lugar a la degradación de algunas sustancias o bien puede favorecer el desarrollo de algas, por lo que, en general, es preferible utilizar recipientes opacos o de color y conservar en la oscuridad.
- *Gases en el interior del recipiente* (CO₂, O₂): para evitar alteraciones por este factor, como la modificación del pH, es conveniente llenar completamente los recipientes con la muestra analizar, o bien purgar los gases con gases inertes (siempre que no se analicen compuestos volátiles). También se debe tener en cuenta la posible difusión de gases a través del recipiente como en el caso del polietileno y polipropileno.

Para evitar alteraciones, además de las precauciones anteriores, también se puede recurrir al uso de *conservantes o estabilizantes*, debiendo tener en cuenta en este caso:

- que no interfiera con el parámetro que se quiere medir (que sea compatible)
- que tenga la pureza suficiente como para que no produzca por sí mismo la introducción de contaminantes (habrá que realizar un chequeo)
- que una vez tratada la muestra, ésta puede no ser apta para analizar otro parámetro
- que se puede provocar una dilución al adicionar el conservante

Ejemplo de estabilizantes/conservantes son los ácidos en el caso de muestras de agua para analizar metales disueltos, o el tiosulfato sódico para neutralizar el efecto de los agentes desinfectantes cuando se quieren hacer análisis microbiológicos. En la norma ISO 5667-3, relativa a la conservación y tratamiento de muestras de aguas, se puede consultar una tabla detallada del tipo de contenedor, volumen de muestra mínimo y método de conservación en función del tipo de parámetro a analizar.

La forma de conservación de las muestras estará condicionada, por tanto, por la matriz y estado físico de las mismas, por las sustancias que se quieren analizar y por su estabilidad ante los distintos factores de alteración. En cualquier caso, lo más recomendable es consultar al laboratorio que realizará los análisis, el cual proporcionará los recipientes más adecuados en función del analito, junto con los conservantes en caso de ser necesarios.

6.5.1.2.8 Transporte de muestras

En el transporte de las muestras se habrán de tener en cuenta todos los aspectos mencionados en la conservación. Adicionalmente, el transporte puede provocar alteraciones de la muestra por agregación o segregación por tamaño de partícula, por lo que habrá que rehomogeneizar antes de proceder al análisis. También se deberán proporcionar las condiciones necesarias para evitar la rotura de los recipientes. Como norma general, el transporte de las muestras se realizará en neveras portátiles, capaces de mantener una temperatura interior en torno a 4°C, evitando que las muestras estén en contacto con la luz. Desde el momento de la toma de muestras hasta la entrega en el laboratorio, no deben transcurrir más de 24 horas.

En el caso de muestras con sustancias peligrosas se deberán observar las condiciones de transporte establecidas para dichas sustancias.

6.5.1.2.9 Almacenamiento de muestras

Aunque lo preferible es analizar las muestras inmediatamente después de tomadas, normalmente no suele ser posible y hay que recurrir a un periodo de almacenamiento. En el plan habrá que definir el periodo máximo de almacenamiento de las muestras antes del análisis, lo cual dependerá fundamentalmente del analito que se quiere medir. Durante el periodo de almacenamiento se habrán de observar todos los aspectos mencionados en el apartado de conservación. En general, las muestras se almacenarán a 4°C en ausencia de luz, ya que así se reducen las reacciones químicas y la actividad biológica. Sin embargo pueden ser recomendables otros sistemas como la congelación (en el caso de muestras biológicas o muestras de aguas para análisis de pesticidas), la ultracongelación o la liofilización.

6.5.1.2.10 Redacción de un protocolo

Dado que a menudo el personal que realiza la toma de muestras es distinto del que la ha planificado, es necesario que el procedimiento esté por escrito, incluyendo todos los puntos anteriores y que sea de fácil comprensión. El protocolo no debe considerarse como un documento definitivo, ya que tiene que estar abierto a posibles eventualidades no contempladas inicialmente o a cambios que posibiliten una mejora en su ejecución. Es por esto, que el plan y el protocolo debe ser revisado en función de la experiencia y la toma de muestras llevada a cabo.

Un modelo de ficha de muestreo se incluye en el apartado 6.5.3 (programa de garantía de la calidad).

6.5.1.3 Medidas de Seguridad e Higiene

Antes de la realización del muestreo en un emplazamiento determinado, se deberán conocer y observar las medidas de seguridad que rigen en dicho emplazamiento. No obstante, dado que el muestreo puede implicar situaciones de riesgo de diferente naturaleza a las habituales de las instalaciones, es necesario estudiarlas de forma específica. Con anterioridad a la ejecución de los trabajos de campo se deberá tener la mayor información posible sobre el tipo de contaminantes presentes en los medios a muestrear, su peligrosidad y las características del medio físico donde se va a realizar el muestreo. De este modo se podrán evaluar los riesgos a los que puede estar sometido el personal que realice el muestreo en cuanto a exposición de contaminantes (ya sea por vía de ingestión, inhalación o contacto dérmico), así como los riesgos físicos (como caídas, golpes, etc.) debidos a la ubicación del punto de muestreo. Así, se podrán implementar las medidas de seguridad oportunas, individuales o colectivas, que minimicen dicho riesgo. Entre las medidas a desarrollar se pueden mencionar las siguientes:

- Gafas protectoras para evitar salpicaduras en los ojos
- Mascarillas para gases y/o partículas
- Guantes de diferente material según el contaminante de que se trate
- Ropa ignífuga
- Ropa impermeable
- Otros equipos de protección individual como casco, botas de seguridad, protectores auditivos, etc.
- Equipamiento auxiliar como arneses, cabos, pértigas, etc.
- Entrenamiento del personal
- Número de personas de acuerdo con las necesidades del muestreo

El personal que realice el muestreo deberá contar, además, con los medios de primeros auxilios necesarios. Así mismo, debe existir una designación clara e inequívoca de la persona responsable de cumplir las medidas de seguridad planificadas.

Todos los procedimientos de seguridad necesarios deberán quedar reflejados en la documentación de seguridad y emergencia, la cual se adjuntará o se incluirá en el *Protocolo de Muestreo* mencionado en el apartado anterior.

6.5.2 Programa analítico

El programa analítico debe contener los parámetros físicos y químicos a analizar y la metodología a emplear en la realización de los análisis de los diferentes parámetros seleccionados.

6.5.2.1 Selección de parámetros a analizar

Los parámetros a controlar dependerán del tipo de actividad que se desarrolle en el emplazamiento y de la evolución histórica que haya tenido lugar en el mismo. A priori, para cada tipo de actividad industrial se pueden establecer una serie de contaminantes susceptibles de estar presentes en el subsuelo debido a las materias primas, productos, subproductos o residuos generados en dicha actividad industrial. Teniendo en cuenta el tipo de actividades industriales ubicadas en la Comunidad de Madrid, en la tabla siguiente se presentan estas actividades con sus correspondientes contaminantes potencialmente asociados. Estas actividades pertenecen a 16 sectores industriales, clasificados en 6 grandes grupos.

Tabla 6.2. Selección de parámetro a analizar

GRUPO	NOMBRE GRUPO	SECTOR	NOMBRE SECTOR	POTENCIALES CONTAMINANTES
1	ENERGÍA Y AGUA	1.1	Energía eléctrica	Aceites usados, combustibles hidrocarburos (TPH, BTEX, PAH), PCB, fenol, hidracina, disolventes halogenados (triclorobenceno, tetracloroetano, diclorometano, tetracloroetano), metales pesados (Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, As, Se, Mn, Cd, V, Be, Hg, Tl, Sb), cianuros
		1.3	Distribución de combustibles	Combustibles hidrocarburos (TPH, BTEX, PAH, MTBE, ETBE)
		1.4	Tratamiento de aguas y residuos, descontaminación	Aceites usados, combustibles hidrocarburos (TPH, BTEX, PAH), disolventes halogenados y no halogenados, plaguicidas, aminas, dioxinas, furanos, metales pesados (Pb, Cu, Cr, As, Cd, Hg, Ni, Zn, Mn, V), fluoruros, cianuros, fósforo
2	INDUSTRIA BÁSICA	2.1	Fabricación de productos químicos	TPH, BTEX, PAH, MTBE, ETBE, fenoles, estireno, diisocianato de tolueno, disolventes halogenados y no halogenados, plaguicidas, compuestos nitrogenados, otros compuestos orgánicos, metales pesados (Cr, As, Zn, Pb, Ba, Mn, Cu, Sb, Be, Cd, Hg, Ni, Se, Ag), cianuros, fósforo, ácidos y bases
		2.2	Fabricación de productos minerales: cal, cerámica, cemento, vidrio, etc.	Aceites usados, combustibles hidrocarburos (TPH, BTEX, PAH), formaldehído, disolventes, metales pesados (Cu, Cr, Mn, Co, Ni, V, Se, Zn, Pb, Sb, As), ácidos y bases

GRUPO	NOMBRE GRUPO	SECTOR	NOMBRE SECTOR	POTENCIALES CONTAMINANTES
		2.3	Fabricación de caucho y fibras sintéticas	Disolventes (acetona, tolueno, metiletilcetona, 1,1,1-tricloroetano), estireno, metales pesados (Pb, Cd, Cr, Se, Zn, Sn, Cu, Ba, Sb), cianuros
3	TRANSFORMACIÓN DE METALES	3.1	Producción y primera transformación de metales ferrosos	Aceites usados, combustibles hidrocarbonados (TPH, BTEX, PAH), metales pesados (As, Cd, Hg, Pb, Tl, Zn, Cr, Cu, Mn, Ni, V), cianuros
		3.2	Producción y primera transformación de metales no féreos	Aceites usados, combustibles hidrocarbonados (TPH, BTEX, PAH), dioxinas y furanos, cresoles, fenol, tricloroetano, metales pesados (Zn, Cu, Pb, As, Sb, Cd, Ni, Cr, Se, Co, Tl, Mn), cianuros
		3.3	Fabricación de elementos metálicos y tratamiento de superficies	Aceites hidráulicos, taladrinas, combustibles hidrocarbonados (TPH, BTEX, PAH), disolventes (tricloroetileno, tetracloroetileno), anilina, etilenglicol, ácidos (clorhídrico, fosfórico, sulfúrico) y bases, metales pesados (Cu, Ni, Cr, Zn, Sn, Cd)
		3.4	Comercio de metales, chatarra y productos de desecho	Aceites usados, taladrinas, combustibles hidrocarbonados (TPH, BTEX, PAH), etilenglicol, tricloroetano, hexacloroetano, clorobenceno, metiletilcetona, ácidos (clorhídrico, sulfúrico), metales pesados (As, Cd, Hg, Pb, Zn, Cr, Cu, Mn, Ni, V)
4	TALLERES	4.1	Talleres y mantenimiento	Combustibles hidrocarbonados (TPH, BTEX, PAH), disolventes (1,1,1-tricloroetano), estireno, metales pesados (Pb, Cu, Cr, As, Sb, Be, Cd, Hg, Ni, Se, Ag, Zn, V)

GRUPO	NOMBRE GRUPO	SECTOR	NOMBRE SECTOR	POTENCIALES CONTAMINANTES
5	COMERCIO DE PRODUCTOS QUÍMICOS	5.1	Comercio de productos químicos	Aceites usados, disolventes halogenados y no halogenados, plaguicidas, fertilizantes, aminas, dioxinas, furanos, metales pesados
6	OTRAS INDUSTRIAS	6.1	Textil y curtidos	Aceites usados, combustibles hidrocarburoados (TPH, BTEX, PAH), fenol, cresoles, tricloroetileno, tetracloroetileno, metiletilcetona, nonilfenoles, ácidos y bases, agentes blanqueantes, metales pesados (Cr, Hg, Ni, Cu, Pb, Cd, Sb, As)
		6.2	Madera y fabricación de muebles	Combustibles hidrocarburoados (TPH, BTEX, PAH), derivados de los clorofenoles, metiletilcetona, 1,1,1-tricloroetano, diclorometano, hexacianoferrato férrico, derivados de la isotiazolonas, permetrina, carbamatos, aldehídos, acetona, creosota, compuestos organometálicos, derivados del amonio, amoníaco, metales pesados (Cu, As, Cr, Pb)

GRUPO	NOMBRE GRUPO	SECTOR	NOMBRE SECTOR	POTENCIALES CONTAMINANTES
		6.3	Artes gráficas y laboratorios fotográficos	Combustibles hidrocarburos (TPH, BTEX, PAH), disolventes (acetato de etilo, acetato de n-propilo, acetato de isopropilo, acetato de butilo, etanol, n-propanol, isopropanol, metoxipropanol, etoxipropanol, butil glicol, acetona, metiletilcetona, metilisobutilcetona, ciclohexanona, tolueno, xileno, acetato de metoxipropanol), resinas termoplásticas (poliestireno, metacrilato de n-butilo y acetato de polivinilo), cresoles, metales pesados (Ti, Ba, Cd, Mo, Zn, Pb, Ni, Co, Cr, As, Be, Cu, Se, Tl),
		6.5	Fabricación de papel	Combustibles hidrocarburos (TPH, BTEX, PAH), fenoles, metales pesados (Ba, Hg, Zn, Pb, Cu, Cr, As), ácidos y bases

El listado definitivo de parámetros a controlar, sin embargo, deberá fijarse específicamente teniendo en cuenta uno o varios de los siguientes documentos:

- Informe Preliminar de Situación
- Investigación Preliminar
- Investigación Detallada
- Proyecto de Recuperación

Los parámetros a analizar estarán de acuerdo con los objetivos prefijados. Como se ha mencionado anteriormente, las sustancias a analizar condicionarán, entre otros aspectos, los siguientes:

- la necesidad de realizar análisis “in situ”
- la cantidad de muestra necesaria
- los equipos de muestreo y el tipo de material
- el tipo de lavado al que hay que someter el material y equipos de muestreo
- condiciones especiales de muestreo
- los recipientes a utilizar
- la forma de conservación de las muestras

6.5.2.2 Selección de técnicas analíticas

Es necesario conocer los métodos analíticos puesto que en función de uno u otro, los resultados de un mismo parámetro pueden variar. Así mismo, hay que prestar atención a los límites de detección de cada una de las técnicas, puesto que esto, entre otros aspectos, condiciona la cantidad mínima de muestra necesaria en función de la concentración esperada y porque puede conducir a la estimación de falsos negativos.

En la tabla 10.2 de la “Guía de Investigación de la Calidad del Suelo” de la Comunidad de Madrid se puede ver un resumen de las técnicas analíticas más importantes, el orden de magnitud del límite de detección de cada una de ellas y los contaminantes para los que se puede aplicar. En las tablas 10.5 y 10.6 de dicha guía, se expone, para análisis de suelos y aguas respectivamente, un listado no exhaustivo de contaminantes y las metodologías elaboradas por distintos estamentos (EPA, ASTM, ISO, UNE, etc.) que se pueden emplear en su análisis. En el ámbito nacional, en el anexo III de la Orden MAM/3207/2006, de 25 de septiembre, por la que se aprueba la

instrucción técnica complementaria MMA-EECC-1/06, se definen los métodos o técnicas analíticas que se pueden utilizar para cada uno de los ensayos en la determinación de la calidad de las aguas, los cuales también pueden servir de guía para los análisis de las aguas subterráneas.

6.5.3 Programa de garantía de la calidad

Para que los datos obtenidos a partir de un muestreo de una red de control sean fiables se debe disponer de un Programa de Garantía de Calidad, el cual se basa en una planificación adecuada, en la documentación y en el control del proceso. Los objetivos del programa de calidad son asegurar que la metodología empleada proporciona unos datos fiables y que los trabajos realizados se han documentado y llevado a cabo según un programa aprobado.

Para cumplir con los objetivos anteriores, el Programa de Calidad deberá contemplar, al menos, los siguientes apartados:

- Control de calidad en las medidas, muestreos y procedimientos analíticos
- Metodología de la calibración de los equipos empleados, así como de su mantenimiento
- Entrenamiento y formación del personal que realice los trabajos
- Control del funcionamiento del programa, especificando posibles acciones correctoras y verificaciones
- Responsables de cada parte del programa, con sus respectivas funciones

Respecto al control de la calidad en las medidas, muestreos y procedimientos analíticos, cabe mencionar los siguientes aspectos:

- Se deberá contar con protocolos de actuación para cada uno de los trabajos a realizar, con el fin de posibilitar el reconocimiento de errores.
- Las muestras se deberán etiquetar de forma clara y duradera para evitar problemas de identificación. Este etiquetado debe incluir el nombre o código de la muestra, fecha y hora del muestreo, la persona que ha realizado el muestreo y, en caso de aplicar, la indicación de existencia de sustancias peligrosas.

- Deberá existir un formato en el que quede registrado cómo se ha realizado el muestreo. En él se incluirá, al menos, la localización, quién ha realizado el muestreo, el día y la hora, condiciones meteorológicas, equipo de muestreo utilizados, características de las muestras, uso de conservantes, desviaciones respecto a plan previsto, etc. Esta ficha servirá para poder explicar posibles anomalías en los resultados analíticos, para permitir la reproducibilidad en muestreos periódicos, etc.. A continuación se presentan los campos que debería contener un modelo de ficha de muestreo para la toma de muestras líquidas.

- Proyecto
- Localización
- Técnico
- Descripción del punto de muestreo
- Material del recipiente de muestreo
- Conservación de la muestra
- Nombre de la muestra
- Fecha y hora
- Tipo de muestra (agua subterránea, agua superficial, efluente, fase no acuosa, etc.)
- Tipo de punto de muestreo (pozo, piezómetro, manantial, aljibe, tubería, arqueta, etc.)
- Técnica de muestreo (manual, mecánica, etc.)
- Purgado del punto de muestreo
- Características organolépticas
- Análisis a realizar
- Incidentes/Observaciones

- Deberá existir un formato de cadena de custodia, en el que quede registrado las personas que han tenido acceso a las muestras desde el muestreo hasta su análisis en el laboratorio.

- Se deberá elaborar un programa de muestras adicionales de blancos de campo (de recipiente, de transporte o de reactivos), que permitan corregir posibles errores sistemáticos. Así mismo, se elaborará un programa de duplicidad de muestras con el que poder estudiar la variabilidad intrínseca en el proceso de toma de muestras.

6.6 Tipologías de emplazamientos sometidos a planes de control y seguimiento

Como ya se ha explicado, los casos en los que podrán requerirse Planes de Control y Seguimiento son cinco (ordenados según mayor probabilidad de riesgo) indicando los objetivos:

- a. Cuando se han detectado Indicios de afección aunque la misma no sea significativa (concentraciones $<$ NGR). El objetivo es conocer la evolución de los contaminantes en el medio y, en el caso de no conocerse o tener dudas al respecto, definir los focos activos de contaminación.
- b. Cuando se ha detectado una afección significativa (concentraciones $>$ NGR y/o la concentración de HTP $>$ 50 mg/kg) y el Análisis Cuantitativo de Riesgos indica un Riesgo aceptable. El objetivo es conocer la evolución de los contaminantes en el medio y, en el caso de no conocerse o tener dudas al respecto, definir los focos activos de contaminación.
- c. Cuando se deban realizar acciones de Recuperación. El objetivo es establecer el avance y desviaciones de los trabajos de recuperación y proceder, en caso de ser necesario, a las modificaciones precisas.
- d. A la finalización de los Proyectos de Recuperación. El objetivo es establecer la eficacia del proyecto de recuperación en el tiempo.
- e. Emplazamientos sin indicios de afección pero con una alta vulnerabilidad de las aguas subterráneas. El objetivo es detectar rápidamente los procesos de contaminación, estableciendo actuaciones sobre los focos.

De estos cinco supuestos contemplados, los apartados c y d son correctivos, mientras que los supuestos a, b y e son eminentemente preventivos.

De acuerdo a los objetivos ya indicados, los planes diseñados para estos casos tendrán una base común y un desarrollo particular en función de la probabilidad de que se genere una situación de riesgo. Es evidente que en los casos con mayor probabilidad de riesgo el plan debe contemplar condiciones más exigentes de control con periodicidades de muestreo menores.

Estos casos, para facilitar su desarrollo, se han agrupado en cuatro categorías en función de su probabilidad de riesgo:

- A. Ejecución proyectos descontaminación (caso c).
- B. A la finalización proyectos descontaminación (caso d).
- C. Emplazamientos investigados con indicios de afección (caso a y b).
- D. Emplazamientos investigados sin indicios de afección donde se establecen planes por su alta vulnerabilidad (caso e).

En los siguientes capítulos se desarrollará el contenido básico de los planes para estas cuatro categorías.

En la ejecución de cualquier tipo de Plan de Control y Seguimiento realizado en el marco de procedimientos de la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio y con carácter general se tendrá en cuenta que:

- La pérdida por cualquier circunstancia de un punto de control obligará a su inmediata reposición en el lugar más próximo posible al anteriormente existente.
- La modificación en cualquiera de los parámetros establecidos en el Plan de Control y Seguimiento (periodicidad, contaminantes, puntos de control, etc.), podrá realizarse previa notificación a la Dirección General de Medio Ambiente, que incluirá justificación técnica suficiente para su supervisión.
- Los informes deberán ser archivados por el titular de la actividad, quedando en cualquier momento a disposición de las administraciones competentes. Se notificarán a la administración en caso de proponerse modificaciones en los parámetros o en el caso de detectarse evoluciones negativas en la calidad de las aguas.
- En cualquier caso los planes deberán orientarse: a la detección de focos activos de contaminación -en el supuesto de no conocerse-, o en su caso, a valorar la efectividad de las medidas tomadas para la eliminación de focos. Asimismo como medida preventiva para impedir la dispersión de contaminantes en caso de emisión accidental o defectos en las instalaciones de la actividad.

CAPITULO 7 EMPLAZAMIENTOS EN EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE DESCONTAMINACIÓN

Contenido del Plan de Control y Seguimiento:

7.1 Antecedentes

Se incluirá una breve explicación cronológica de los pasos dados hasta iniciarse las labores de recuperación, con especial referencia a:

- Informes, estudios e investigaciones realizadas, con indicación expresa de fecha de ejecución, presentación a la administración competente, y procedimiento en que se incluye, requerimientos y resoluciones de la administración.
- Síntesis de los aspectos más significativos y conclusiones de los estudios e investigaciones realizadas. Resultados del Análisis Cuantitativo de Riesgos. Actuaciones sobre focos primarios y secundarios.
- Estudio de alternativas de actuación y alternativa seleccionada. Objetivos del tratamiento.
- Fecha de inicio de los trabajos de recuperación indicándose la red de pozos de remediación y monitoreo establecida.

7.2 Objetivos

El objetivo principal de estos trabajos es el de evaluar el avance de los trabajos de recuperación.

No obstante, también existen otros objetivos particulares que deben tenerse presentes, entre ellos:

- Monitorizar la evolución de las condiciones del emplazamiento que puedan influir en la valoración del riesgo: focos, vías de exposición y receptores.
- Controlar los potenciales focos existentes y su evolución, tanto con respecto a su masa, como distribución espacial.
- Detectar la aparición de focos nuevos.
- Monitorizar el transporte de contaminantes en las vías prioritarias, así como las condiciones de las mismas que puedan modificar el flujo de

contaminantes (nivel freático, gradiente y dirección del mismo, condiciones geoquímicas, dirección e intensidad vientos, etc.).

- Controlar la aparición de nuevas vías (pozos, galerías, zanjas, modificaciones en el pavimento, etc.).
- Evaluar periódicamente los potenciales receptores (cambios de uso en las zonas aledañas, etc.).

Estos objetivos son de especial relevancia, dado que las actuaciones de recuperación pueden suponer la aparición de potenciales focos de afección nuevos, vías de exposición y receptores como por ejemplo:

- Las pilas de material contaminado excavado pueden suponer un foco potencial de lixiviados, generación de volátiles y material sólido en suspensión, durante el plazo de almacenamiento. En el caso de transporte de este material fuera de la instalación, existirán riesgos asociados a dicho proceso que deben ser controlados hasta la disposición final de los mismos. Todos los almacenamientos de residuos son potenciales focos que deben ser controlados. Algunos procesos de descontaminación, pueden generar nuevos compuestos, como los procesos de desorción térmica que pueden suponer emisiones de compuestos de azufre, halógenos, nitrógeno, etc. Los procesos de degradación anaeróbica de algunos compuestos organohalogenados, pueden generar supproductos de degradación más tóxicos que el propio contaminante original.
- Los sistemas que utilizan la extracción de vapores del subsuelo, suponen la aparición de un foco de emisiones que implica una vía preferencial de transporte para los contaminantes volátiles y semivolátiles, la cual debe ser controlada para no generar un nuevo riesgo. La ejecución de pozos para control hidráulico o redes de zanjas de extracción o tratamiento, puede suponer la aparición de vías preferenciales de transporte y modificaciones en la dirección de flujo del agua subterránea que deben ser controladas. La excavación de materiales contaminados con compuestos volátiles, especialmente en suelos pavimentados, supone la aparición de una nueva vía de transporte, al eliminarse la contención existente.
- El personal que realiza las labores de recuperación, son potenciales receptores, especialmente cuando se trabaja con compuestos de alta toxicidad o cuando las labores suponen plazos de exposición

muy prolongados. La instalación de una chimenea en un emplazamiento, puede afectar a receptores ubicados a distancias no consideradas inicialmente, especialmente en instalaciones con el suelo pavimentado y donde no existía la vía de inhalación en espacios abiertos.

7.3 Condiciones ambientales iniciales

Se deberá exponer brevemente la información necesaria para entender la justificación del diseño realizado, como:

- a) Datos más relevantes del estudio de suelos y análisis cuantitativo de riesgos
 - Descripción resumida de los trabajos efectuados, sondeos, muestreos, etc.
 - Características geológicas e hidrogeológicas.
 - Niveles de fondo de compuestos de interés y condiciones geoquímicas principales.
 - Compuestos de interés analizados y/o detectados.
 - Afección detectada en suelo y agua subterránea. Concentraciones, distribución y masa estimada.
 - Resultados del Análisis Cuantitativo de Riesgos, riesgos y concentraciones residuales admisibles.

- b) Modelo conceptual.

Se incluirá un resumen del modelo empleado en el Análisis Cuantitativo de Riesgos, explicando:

- i) Focos
- ii) Vías de exposición
- iii) Receptores

7.4 Sistema de descontaminación e instalaciones asociadas

Se explicará brevemente la metodología de recuperación implantada, presentando instalaciones (pozos, zanjas, redes, etc.), equipos (bombas, decantadores, separadores, filtros, columnas de lavado, etc), maquinaria (retroexcavadoras, palas cargadoras, cribas móviles, tromeles, etc), procesos principales (depresión del nivel de agua, extracción de vapores, lavado en contracorriente, adsorción en lechos, oxidación química, destrucción térmica, etc.), plazos y horarios de operación.

Se incluirá un resumen del Plan de Manejo Ambiental del saneamiento, incidiendo en los posibles impactos generados por la actividad de recuperación y las medidas de prevención establecidas.

Se explicarán brevemente las modificaciones que suponen los trabajos de recuperación en el Modelo Conceptual.

Se definirán:

- a) Puntos de emisión. Se describirán brevemente considerando ubicación, altura del punto, caudales medios (régimen de puntos o máximos) y evolución esperable de las concentraciones de contaminantes.
- b) Efluentes. Se indicará ubicación, receptor final, caudales y concentraciones esperables de contaminantes.
- c) Generación de residuos y gestión.

7.5 Plan de control y seguimiento

7.5.1 Diseño red de control. Justificación

Para el diseño de la red de control deberá tenerse en cuenta que, aunque los pozos del sistema de descontaminación pueden proporcionar una información muy útil, debido a su ejecución, equipamiento y operación, pueden no ser válidos como pozos de observación o monitoreo. Por ello, se debe contar con una red de monitoreo independientemente de éstos, la cual sirva para complementar la información y permitir alcanzar los objetivos propuestos.

La red de control se adecuará a los objetivos generales y particulares, y se considera al menos:

7.5.1.1 Muestreo en los puntos de emisión y descarga de efluentes.

Se deben indicar los caudales y concentraciones de contaminantes medidas.

7.5.1.2 Muestreo de los medios afectados

Aguas subterráneas

- Un punto aguas arriba en zona no afectada, como control de las condiciones geoquímicas y para deslindar afecciones de terceros al predio.
- Dos puntos aguas abajo del foco, en la zona afectada, para poder controlar la evolución de la pluma en las tres dimensiones (x, y, z).
- En lo posible es recomendable contar con un punto de control aguas abajo en una zona limpia en la generatriz de la pluma, que sirva de control para posibles receptores.

Suelos

- En caso de trabajos in-situ, se considerará la utilidad de contar con una red de pozos de control de compuestos volátiles o semivolátiles. Estará orientada a evaluar, tanto la evolución de la masa de contaminante como la posibilidad de migración a zonas donde se puedan generar situaciones de riesgo. Como mínimo se considerará una red de tres pozos de control ubicados en los bordes de la zona contaminada, estando uno de ellos en la dirección de posibles puntos de riesgo (viviendas, etc.).
- En caso de trabajos con excavación, se realizará el control analítico sobre el material excavado, el fondo y paredes del vaso de excavación y el material de relleno. De forma que se puedan verificar las condiciones finales del emplazamiento y tener un control de la gestión del material excavado. Se recomienda emplear para el diseño de la malla de control las guías publicadas por la EPA (U.S. E.P.A., Methods for Evaluating the Attainment of Cleanup Standards. Volume 1: Soil. EPA 230/02-89-042, February 1989. Office of Policy, Planning and Evaluation) o el IHOBE (DECRETO 199/2006, de 10 de octubre, por el que se establece el sistema de acreditación de entidades de investigación y recuperación de la calidad del suelo y se determina el contenido y alcance de las investigaciones de la calidad del suelo a realizar por dichas entidades. Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. N.º 213 ZK. BOPV N.º 213 ZK.-miércoles 8 de noviembre de 2006). A continuación se

resume el diseño de la malla teniendo en cuenta que el número de puntos de muestreo se calculará en función, fundamentalmente, de la superficie a muestrear:

Tabla 7.1. Muestras de la base de excavación.

Superficie saneada (m ²)	Número mínimo de puntos de muestreo
<50	1
51-100	2
101-150	3
151-250	4
251-400	5
401-600	6
601-800	7
801-1000	8
>1000	8+1 muestra cada 300 m ²

Para excavaciones menores de 10 m de perímetro se podría considerar la toma de sólo dos muestras, una para la base y otra en una pared en base a la dirección de escorrentía superficial.

Tabla 7.2. Muestras de las paredes de excavación.

Longitud de la pared (m)	Número mínimo de puntos de muestreo
<5	1
5-10	2
11-20	3
21-30	4
31-60	5
61-90	6
91-150	7
>150	8

Las muestras de las paredes no serán necesarias en excavaciones de profundidad inferior a 30 cm. Para paredes superiores en altura a 2,5 m el número de muestras de la pared se calculará aplicando los mismos criterios de superficie que para la base y no los de la tabla anteriormente expuesta.

Aguas superficiales

- En corrientes superficiales, se considera un punto de muestreo aguas arriba y otro en la zona estimada de mayor emisión (centro de la pluma en su zona de salida al cauce).
- En masas de agua, se considera un punto de control en una zona limpia y otro en el punto de máxima emisión estimada.

Aire

- Muestréos de inmisión en puntos cercanos a los potenciales receptores.

7.5.1.3 Perímetros de protección

En caso de existir pozos de agua para consumo en las proximidades, se deberá, contar con puntos de muestreo en el límite del perímetro de protección de los mismos, de forma que se disponga de un plazo de tiempo razonable para actuar en caso de observarse afección. Los puntos de control pueden ser existentes (pozos, galerías, manantiales, fuentes, etc.) o construirse específicamente para dicho uso.

7.5.2 Programa analítico y niveles objetivos. Justificación.

El programa se adecuará a los puntos de control, incluyendo además los acopios y almacenamiento de residuos, debiendo desarrollarse para:

- i) Emisiones y efluentes.
- ii) Pluma contaminante.
- iii) Perímetros de protección.
- iv) Caracterización de residuos.

El programa analítico tendrá en cuenta:

- Los contaminantes que superan los NGR o que han sido detectados no teniendo todavía un NGR definido en:
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. BOE nº 15, de 18 de enero de 2005.

ORDEN 2770/2006, de 11 de agosto, del Consejero de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, por la que se procede al establecimiento de niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos contaminados de la Comunidad de Madrid. BOCM nº 204 de 28 de agosto de 2006.

ORDEN 761/2007, de 2 de abril, del Consejero de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, por la que se modifica la ORDEN 2770/2006, de 11 de agosto, por la que se establecen niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza de suelos contaminados de la Comunidad de Madrid. BOCM nº 98 de 26 de abril de 2007.

- Otros contaminantes que, aunque no superen los NGR o no se hayan detectado en la investigación realizada, se crea importante monitorizar dado que existan potenciales focos, sean bioacumulativos, tóxicos y persistentes.
- Los contaminantes esperables en las emisiones y efluentes, y los residuos generados.
- Parámetros geoquímicos con influencia en el Modelo Conceptual o en los procesos de recuperación tales y como: pH, temperatura, COT, O_{2aq} , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Fe^{2+} , S^{2-} , ORP, Mn^{4+} , conductividad, alcalinidad, etc.
- Trazadores, compuestos que por su baja degradabilidad o pequeño retardo, pueden emplearse para determinar con precisión el límite de la pluma contaminante en agua, así como la velocidad real de dicho medio. (p.e. trimetilbencenos, MTBE, ETBE, cloruro, etc.).
- Compuestos originados en procesos degradativos y que pueden indicar la preexistencia de un contaminante en dicho punto o aguas arriba del mismo (p.e. cloruro de vinilo, eteno, etc.).

Se deberán explicar brevemente:

- Los parámetros a muestrear
- La metodología de muestreo
- Sistema de envasado, conservación , transporte
- Técnica analítica y precisión
- Plan de control de calidad, que incluirá al menos:

- Metodología de control en el transporte. Cadena de custodia y verificación de condiciones de llegada a laboratorio (integridad, temperatura, etc).
- Evaluación de incertidumbres durante:
 - Muestreo (muestras de material limpio tomado con equipos empleados).
 - Transporte (blancos de control).
 - Laboratorio (muestras duplicadas, ensayos interlaboratorio, etc.).
- En caso de emplearse mediciones en campo, se deberá indicar el % de muestras a enviar a laboratorio para control.

7.5.3 Periodicidad del muestreo. Justificación.

Los plazos de muestreo se deben adecuar a las condiciones de riesgo existentes, así como a los tiempos estimados de transporte desde un foco a los potenciales receptores de forma que se cuente con un plazo razonable para actuar en caso de alarma. Esto vendrá condicionado, tanto por las características de los focos y vías de exposición, como por las posibilidades de ubicación de los puntos de control. Por ello es difícil definir unos plazos rígidos de tiempo y se recomienda que estos sean específicos del emplazamiento y justificados de acuerdo a lo comentado en el punto 6.5.1.2.2. y los objetivos del plan.

En el caso de los trabajos de recuperación, se considera que son casos donde ya existe un riesgo y se deben reducir, por tanto, los plazos de exposición y las dosis de ingesta. Por ello los periodos entre muestreos deben ser relativamente cortos.

7.5.4 Informes periódicos de control y seguimiento

A continuación se expone un índice de lo que deben contener los informes periódicos de control y seguimiento en emplazamientos en los que se está descontaminando:

- 1) Objetivos y antecedentes
- 2) Valores objetivo para el emplazamiento
 - a) En caso de haberse realizado un Análisis Cuantitativo de Riesgos, los valores residuales admisibles.

- b) Si no se dispone de Análisis Cuantitativo de Riesgos, en suelos se consideraran los correspondientes a los NGR, y en aguas los valores de intervención de la Norma Holandesa y, en el futuro, los Valores Umbrales de la Directiva 2006/118/CE, de 12 de diciembre de 2006, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.
 - c) Para emisiones y efluentes, los valores definidos por la autoridad competente en función del tipo y punto de vertido. Ley 10/1993, de 26 de octubre, sobre vertidos líquidos industriales al Sistema Integral de Saneamiento (BOCM nº 269, de 12/11/1993), Decreto 57/2005, de 30 de junio, se revisan los Anexos de la Ley 10/1993, de 26 de octubre, sobre vertidos líquidos industriales al Sistema Integral de Saneamiento (BOCM nº 159, de 06/07/2005), y Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de junio, por el que se aprueba el texto refundido de la ley de aguas (BOE nº 176, de 24/07/2001).
 - d) Para calidad de aire, los valores límite y objetivo definidos por la autoridad competente. Real Decreto 1073/2002, de 18 de octubre, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno, Óxidos de Nitrógeno, Partículas, Plomo, Benceno y Monóxido de Carbono. (BOE nº 260, de 30/10/2002) y Real Decreto 812/2007, de 22 de junio, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (BOE nº 160, de 23/06/2007).
- 3) Operaciones realizadas
- a) Muestreo de aguas
 - i) En caso de aguas subterráneas, incluir los datos de purga y muestreo (tipo de bomba o muestreador, caudal, tiempo, descensos, recuperación) y parámetros evaluados durante la estabilización (conductividad, pH, temperatura, potencial redox, alcalinidad, oxígeno disuelto, alcalinidad, etc).
 - b) Muestreo de suelos
 - i) En caso de ensayos en campo indicar tipo y resultados (ensayos de Head Space, PetroFlag, IR, etc).
 - c) Muestreo de vapores ocluidos en el subsuelo
 - i) Indicar la metodología y condiciones del muestreo.
 - d) Mediciones de piezometría
 - e) Mediciones de espesor de producto libre y ensayos
 - i) En caso de realizar ensayos sobre el producto libre indicar tipo y condiciones (bail-down, ensayos de recuperación, etc.).

- f) Muestreo de inmisiones y control de condiciones ambientales (fenómenos de dispersión y deposición, rosa de vientos con dirección, frecuencia e intensidad, fenómenos metéricos, etc)
 - g) Muestreo de emisiones y efluentes
 - h) Muestreo y caracterización de residuos generados
 - i) Gestión de residuos generados
- 4) Datos obtenidos en las operaciones realizadas
- a) Pluma contaminante en agua y masa estimada del mismo disuelto
 - b) Parámetros hidrogeoquímicos y condiciones de biodegradación
 - c) Pluma contaminante en suelo y masa estimada del mismo en suelo
 - d) Pluma de vapores contaminante
 - e) Isopiezas en agua, gradiente y dirección
 - f) Isopacas producto libre y masa estimada del mismo
 - g) Inmisiones generadas y variaciones a considerar en las condiciones ambientales
 - h) Emisiones generadas y masa emitida en el periodo de tiempo considerado (control en puntos de inmisión)
 - i) Efluentes generados y masa vertida en el periodo de tiempo considerado
 - j) Tipología y masa de residuos generados y gestionados
 - k) Balance de masas del contaminante extraído en el periodo (masa emitida + masa vertida + masa en residuos)
- 5) Evolución e interpretación de los parámetros evaluados
- a) Evolución de todos los parámetros evaluados por punto de control
 - b) Evolución de las plumas contaminantes (cambios en las dimensiones y geometría, cambios en la masa, determinación de procesos de atenuación natural, plumas crecientes, en equilibrio o menguantes)
 - c) Evolución de las condiciones hidrogeoquímicas (procesos de biodegradación)
 - d) Evolución de las condiciones hidráulicas, especialmente en consideración al control de la pluma, perímetros de protección y emisiones generadas en puntos de vertido (corrientes y masas de agua superficiales)
 - e) Evolución de las inmisiones y de las condiciones ambientales, especialmente respecto a cambios en potenciales receptores
 - f) Evolución del balance de masas e interpretación del mismo (1ª fase controlada por fenómenos de dispersión y volatilización; 2ª fase controlada por fenómenos de disolución y biodegradación, 3ª fase controlada por fenómenos de desorción y difusión)
 - g) Reevaluación del Esquema Conceptual

6) Conclusiones y recomendaciones

- a) Conclusiones, indicar si la evolución es acorde a lo esperado y, en caso contrario, indicar las posibles razones, indicar posibles mejoras, resultado de la reevaluación del modelo conceptual, indicar si se están produciendo procesos de biodegradación y atenuación natural.
- b) Recomendaciones, en caso de desviaciones de la evolución esperada se debe presentar un plan de acción valorando incluso el método y proceso de descontaminación. En caso de modificación del modelo conceptual se debe indicar si son necesarias modificaciones en el sistema de descontaminación y la variación de la selección de los puntos de control.

7) PLANOS

- a) Ubicación
- b) Plano general de la instalación
- c) Plano de isopiezas
- d) Plano de isopacas (producto libre)
- e) Planos de isoconcentraciones (agua, suelo y vapores)
- f) Plano de posibles receptores
- g) Plano de instalaciones de descontaminación
- h) Plano de puntos de control

8) ANEXOS

- a) Esquema del modelo conceptual actualizado
- b) Hojas de muestreo y cadenas de custodia
- c) Ensayos realizados
- d) Resultados de los análisis de laboratorio
- e) Hojas de control de los residuos (transporte y disposición final)

Los informes mínimos serán: antes de la puesta en marcha o inicio de las labores de remediación (condiciones iniciales). Al alcanzar el 50% de los objetivos de remediación. Al alcanzar el 75% de los objetivos de remediación. A la finalización de los trabajos.

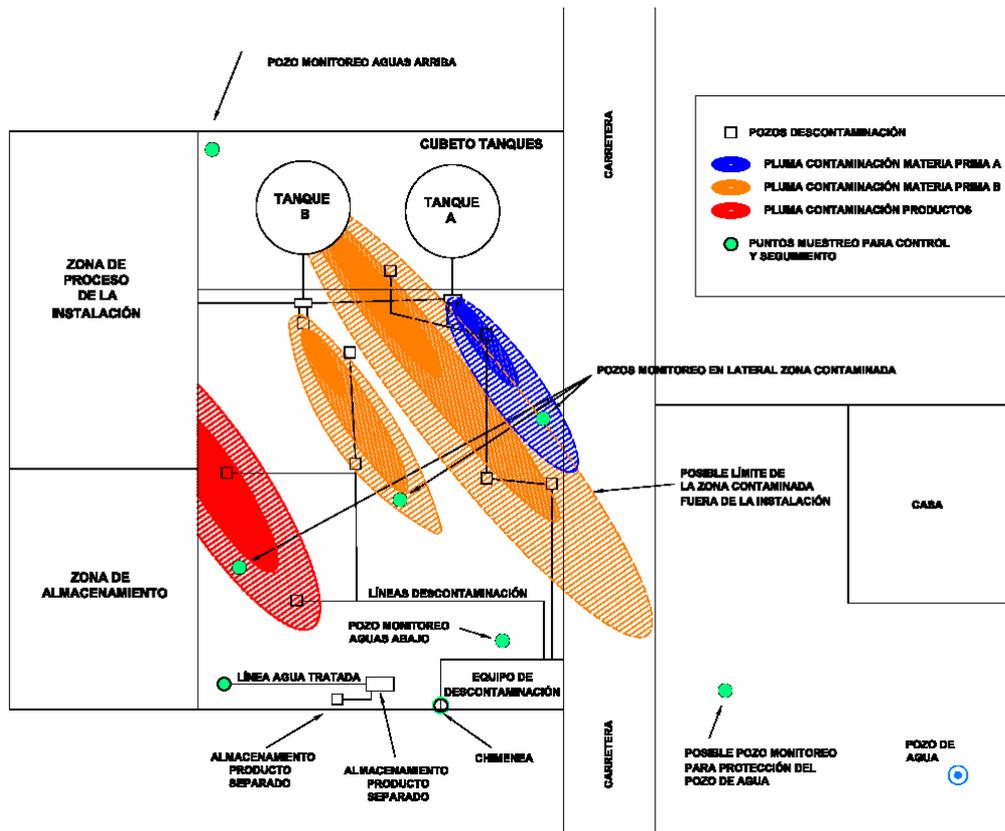


Figura 7.1. Ejemplo PCS en ejecución proyectos de descontaminación

CAPITULO 8 EMPLAZAMIENTOS CON FINALIZACIÓN DE PROYECTOS DESCONTAMINACIÓN

Contenido del Plan de Control y Seguimiento:

8.1 Antecedentes

Se incluirá una breve explicación cronológica de los pasos dados hasta finalizarse las labores de recuperación, con especial referencia a:

- Informes, estudios e investigaciones realizadas, con indicación expresa de fecha de ejecución, presentación a la administración competente, y procedimiento en que se incluye, requerimientos y resoluciones de la administración.
- Síntesis de los aspectos más significativos y conclusiones de los estudios e investigaciones realizadas. Resultados del Análisis Cuantitativo de Riesgos. Actuaciones sobre focos primarios y secundarios.
- Estudio de alternativas de actuación y alternativa seleccionada. Objetivos del tratamiento.
- Síntesis de los aspectos más significativos y conclusiones de los trabajos de recuperación. Fechas de inicio y finalización, estado final, estado de infraestructuras, planos, etc.

8.2 Objetivos

El objetivo principal de estos trabajos es el de conocer la evolución de los contaminantes residuales en el medio y establecer la eficacia del proyecto de recuperación en el tiempo.

No obstante, también existen otros objetivos particulares que deben tenerse presentes, entre ellos:

- Monitorizar la evolución de las condiciones del emplazamiento que puedan influir en la valoración del riesgo: focos, vías de exposición y receptores.
- Controlar los potenciales focos existentes y su evolución tanto con respecto a su masa como distribución espacial.
- Detectar la aparición de focos nuevos.

- Monitorizar el transporte de contaminantes en las vías prioritarias, así como las condiciones de las mismas que puedan modificar el flujo de contaminantes (nivel freático, gradiente y dirección del mismo, condiciones geoquímicas, dirección e intensidad vientos, etc.).
- Controlar la aparición de nuevas vías (pozos, galerías, zanjas, modificaciones en el pavimento, etc.).
- Evaluar periódicamente los potenciales receptores (cambios de uso en las zonas aledañas, etc.).

El control de la pluma de alteración remanente, aunque cubierto por los objetivos generales, se menciona por su relevancia en estos casos, dado que se observa con cierta frecuencia el llamado “efecto rebote”, el cual consiste en el incremento brusco de las concentraciones en agua y vapores al finalizar las acciones de recuperación. Este efecto es observado con mayor frecuencia en aquellos suelos con importantes heterogeneidades y que por ello pueden tener zonas con un efecto de isla, desde donde pueden movilizarse contaminantes “entrampados” hasta alcanzar concentraciones superiores a las definidas como objetivos de recuperación.

8.3 Condiciones ambientales iniciales.

Se deberá exponer brevemente la información necesaria para entender la justificación del diseño realizado, como:

- a) Datos más relevantes de los estudios de suelos (incluyendo los datos recabados durante las labores de recuperación) y análisis cuantitativo de riesgos
 - Descripción resumida de los trabajos efectuados, sondeos, muestreos, etc.
 - Características geológicas e hidrogeológicas.
 - Niveles de fondo de compuestos de interés y condiciones geoquímicas principales.
 - Compuestos de interés analizados y/o detectados.
 - Afección detectada en suelo y agua subterránea. Concentraciones, distribución y masa estimada.
 - Resultados del Análisis Cuantitativo de Riesgos, riesgos y niveles objetivo.
- b) Niveles objetivo aprobados por la administración para la recuperación efectuada.

c) Modelo conceptual.

Se incluirá un resumen del modelo empleado en el Análisis Cuantitativo de Riesgos, modificándolo de acuerdo a los trabajos finalmente ejecutados durante las labores de recuperación, explicando:

- i) Focos
- ii) Vías de exposición
- iii) Receptores

8.4 Plan de control y seguimiento

8.4.1 Diseño red de control. Justificación

La Red de control se adecuará a los objetivos generales y particulares y se considera al menos:

8.4.1.1 Pluma contaminante remanente

Esta medición puede ser realizada directamente (en el caso de aguas superficiales o vapores) o indirectamente (en el caso de suelos sin presencia permanente de aguas subterráneas y/o contaminantes no volátiles), por ello el diseño puede incluir el muestreo de distintos medios en función de las condiciones, como :

Aguas subterráneas

1. Un punto aguas arriba en zona no afectada, como control de las condiciones geoquímicas y para deslindar afecciones de terceros al predio.
2. Dos puntos aguas abajo de la zona afectada para poder controlar la evolución de la pluma en las tres dimensiones (x, y, z).
3. En lo posible es recomendable contar con un punto de control aguas abajo en una zona limpia en la generatriz de la pluma, que sirva de control para posibles receptores.

Suelos

1. Se considerará la utilidad de contar con una red de pozos de control de compuestos volátiles o semivolátiles. La cual estará orientada a evaluar, tanto la evolución de la masa de

contaminante como la posibilidad de migración a zonas donde se puedan generar situaciones de riesgo. Como mínimo se considerará una red de: tres pozos de control ubicados en los bordes de la zona contaminada. Un pozo en la dirección de posibles puntos de riesgo (viviendas, etc.).

Aguas superficiales

1. En corrientes superficiales, se considera un punto de muestreo aguas arriba y otro en la zona estimada de mayor emisión (centro de la pluma en su zona de salida al cauce).
2. En masas de agua, se considera un punto de control en una zona limpia y otro en el punto de máxima emisión estimada.

8.4.1.2 Perímetros de protección

En caso de existir pozos de agua para consumo en las proximidades, se deberá, contar con puntos de muestreo en el límite del perímetro de protección de los mismos, de forma que se disponga de un plazo de tiempo razonable para actuar en caso de observarse afección. Los puntos de control pueden ser existentes (pozos, galerías, manantiales, fuentes, etc) o construirse específicamente para dicho uso.

8.4.2 Programa analítico y niveles objetivos. Justificación.

El programa se adecuará a los puntos de control, debiendo desarrollarse para:

- i) La Pluma de alteración remanente.
- ii) Perímetros de protección.

El programa analítico tendrá en cuenta:

- Los contaminantes que superan los NGR o que han sido detectados no teniendo todavía un NGR definido en:

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. BOE nº 15, de 18 de enero de 2005.

ORDEN 2770/2006, de 11 de agosto, del Consejero de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, por la que se procede al

establecimiento de niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos contaminados de la Comunidad de Madrid. BOCM nº 204 de 28 de agosto de 2006.

ORDEN 761/2007, de 2 de abril, del Consejero de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, por la que se modifica la ORDEN 2770/2006, de 11 de agosto, por la que se establecen niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza de suelos contaminados de la Comunidad de Madrid. BOCM nº 98 de 26 de abril de 2007.

- Otros contaminantes que aunque no superen los NGR, o no se hayan detectado en la investigación realizada, se crea importante monitorizar dado que existan potenciales focos, sean bioacumulativos, tóxicos y persistentes.
- Parámetros geoquímicos con influencia en el Modelo Conceptual o en los procesos de recuperación tales y como: pH, temperatura, COT, O_{2aq} , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Fe^{2+} , S^{2-} , ORP, Mn^{4+} , conductividad, alcalinidad, etc.
- Trazadores, compuestos que por su baja degradabilidad o pequeño retardo, pueden emplearse para determinar con precisión el límite de la pluma contaminante en agua, así como la velocidad real de dicho medio. (p.e. trimetilbencenos, MTBE, ETBE, cloruro, etc.).
- Compuestos originados en procesos degradativos y que pueden indicar la preexistencia de un contaminante en dicho punto o aguas arriba del mismo (p.e. cloruro de vinilo, eteno, etc.).

Se deberán explicar brevemente:

- Los parámetros a muestrear
- La metodología de muestreo
- Sistema de envasado, conservación y transporte
- Técnica analítica y precisión
- Plan de control de calidad, que incluirá al menos:
 - Metodología de control en el transporte. Cadena de custodia y verificación de condiciones de llegada a laboratorio (integridad, temperatura, etc.).
 - Evaluación de incertidumbres durante:

- Muestreo (muestras de material limpio tomado con equipos empleados).
 - Transporte (blancos de control).
 - Laboratorio (muestras duplicadas, ensayos interlaboratorio, etc.).
- En caso de emplearse mediciones en campo, se deberá justificar el % de muestras a enviar a laboratorio para control.

8.4.3 Periodicidad del muestreo. Justificación

Los plazos de muestreo se deben adecuar a las condiciones de riesgo que puedan existir, así como a los tiempos estimados de transporte desde un foco a los potenciales receptores de forma que se cuente con un plazo razonable para actuar en caso de alarma. Esto vendrá condicionado tanto por las características de los focos y vías de exposición, como por las posibilidades de ubicación de los puntos de control. Por ello, es difícil definir unos plazos rígidos de tiempo y se recomienda que estos sean específicos del emplazamiento y justificados de acuerdo a lo comentado en el punto 6.5.1.2.2 y los objetivos del plan.

En el caso de los suelos que han sido recuperados, se considera que son casos donde no existe riesgo y, por lo tanto, se considera que la periodicidad debe permitir controlar la evolución de las concentraciones en función de las condiciones climáticas y meteorológicas.

8.4.4 Informes periódicos de control y seguimiento

A continuación se expone un índice de lo que deben contener los informes periódicos de control y seguimiento en este tipo de emplazamientos:

- 1) Objetivos y antecedentes
- 2) Valores objetivo para el emplazamiento
 - a) En caso de haberse realizado un Análisis Cuantitativo de Riesgos, los valores residuales admisibles establecidos.
 - b) Si no se dispone de Análisis Cuantitativo de Riesgos, en suelos se consideraran los correspondientes a los NGR, y en aguas los valores de intervención de la Norma Holandesa y, en el futuro, los Valores Umbrales de la

Directiva 2006/118/CE, de 12 de diciembre de 2006, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.

- 3) Operaciones realizadas
 - a) Muestreo de aguas
 - i) En caso de aguas subterráneas, incluir los datos de purga y muestreo (tipo de bomba o muestreador, caudal, tiempo, descensos, recuperación) y parámetros evaluados durante la estabilización (conductividad, pH, temperatura, potencial redox, alcalinidad, oxígeno disuelto, alcalinidad, etc.).
 - b) Muestreo de vapores ocluidos en el subsuelo
 - i) Indicar la metodología y condiciones del muestreo.
 - c) Mediciones de piezometría
- 4) Datos obtenidos en las operaciones realizadas
 - a) Pluma contaminante en agua.
 - b) Pluma de vapores contaminante.
 - c) Isopiezas en agua, gradiente y dirección.
- 5) Evolución e interpretación de los parámetros evaluados
 - a) Evolución de todos los parámetros evaluados por punto de control.
 - b) Evolución de las plumas contaminantes (cambios en las dimensiones y geometría, cambios en la masa, determinación de procesos de Atenuación Natural, plumas crecientes, en equilibrio o menguantes).
 - c) Evolución de las condiciones hidrogeoquímicas (procesos de biodegradación).
 - d) Evolución de las condiciones hidráulicas, especialmente en consideración al control de la pluma, perímetros de protección y emisiones generadas en puntos de vertido (corrientes y masas de agua superficiales).
 - e) Reevaluación del Esquema Conceptual.
- 6) Conclusiones y recomendaciones
 - a) Conclusiones, indicar si la evolución es acorde a lo esperado y, en caso contrario, indicar las posibles razones, indicar posibles mejoras, resultado de la reevaluación del modelo conceptual, indicar si se están produciendo procesos de biodegradación y atenuación natural.
 - b) Recomendaciones, en caso de desviaciones de la evolución esperada se debe presentar un plan de acción valorando incluso proceder de nuevo a implementar los trabajos de descontaminación. En caso de modificación del modelo conceptual se debe indicar si son necesarias modificaciones en la selección de los puntos de control.
- 7) PLANOS

- a) Ubicación
 - b) Plano general de la instalación
 - c) Plano de isopiezas
 - d) Planos de isoconcentraciones (agua y vapores)
 - e) Plano de puntos de control
- 8) ANEXOS
- a) Esquema del modelo conceptual actualizado
 - b) Hojas de muestreo y cadenas de custodia
 - c) Resultados de los análisis de laboratorio

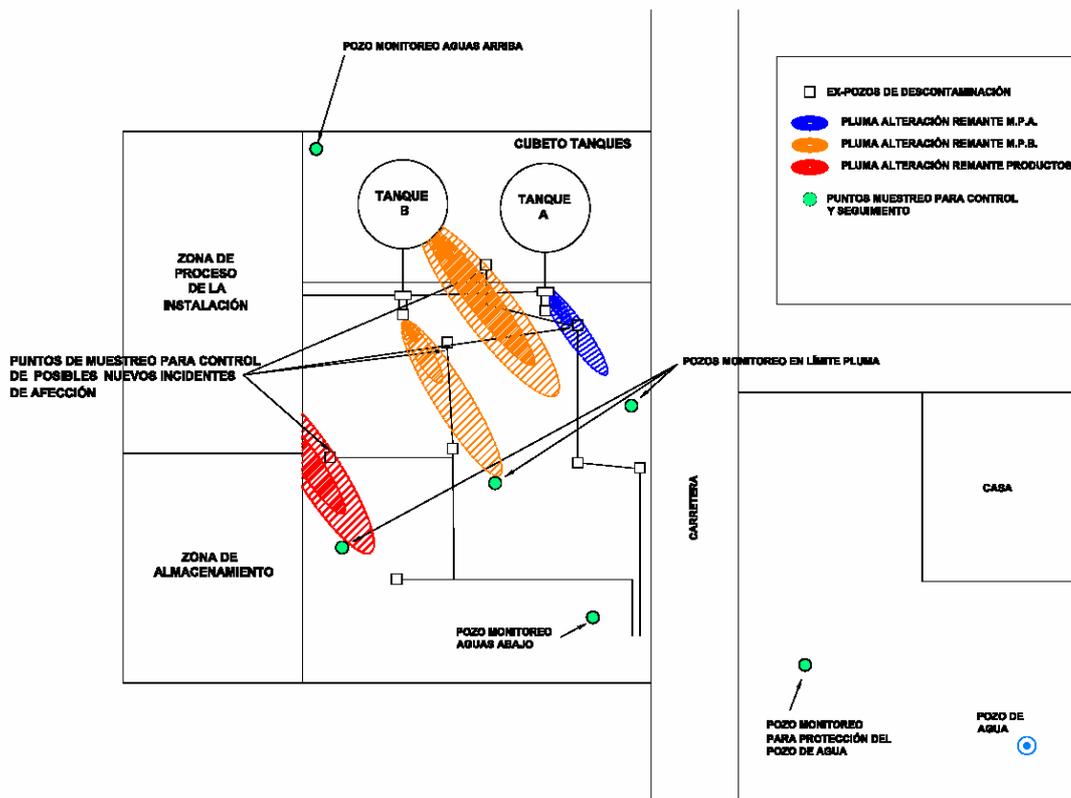


Figura 8.1. Ejemplo PCS a la finalización proyectos de descontaminación

CAPITULO 9 EMPLAZAMIENTOS CON INDICIOS DE AFECCIÓN

Contenido del Plan de Control y seguimiento:

9.1 Antecedentes

Se incluirá una breve explicación cronológica de los pasos dados, con especial referencia a:

- Informes, estudios e investigaciones realizadas, con indicación expresa de fecha de ejecución, presentación a la administración competente, y procedimiento en que se incluye, requerimientos y resoluciones de la administración.
- Síntesis de los aspectos más significativos y conclusiones de los estudios e investigaciones realizadas. En su caso, resultados del Análisis Cuantitativo de Riesgos. Actuaciones sobre focos primarios y secundarios.

9.2 Objetivos

El objetivo principal de estos trabajos es el de conocer la evolución de los contaminantes detectados en el medio.

No obstante, también existen otros objetivos particulares que deben tenerse presentes, entre ellos:

- Monitorizar la evolución de las condiciones del emplazamiento que puedan influir en la valoración del riesgo: focos, vías de exposición y receptores.
- Controlar los potenciales focos existentes y su evolución tanto con respecto a su masa como distribución espacial.
- Detectar la aparición de focos nuevos.
- Monitorizar el transporte de contaminantes en las vías prioritarias, así como las condiciones de las mismas que puedan modificar el flujo de contaminantes (nivel freático, gradiente y dirección del mismo, condiciones geoquímicas, dirección e intensidad vientos, etc.).
- Controlar la aparición de nuevas vías (pozos, galerías, zanjos, modificaciones en el pavimento, etc.).

- Evaluar periódicamente los potenciales receptores (cambios de uso en las zonas aledañas, etc.).

El control de la pluma de afección, aunque cubierto por los objetivos generales, se menciona dado que, debido a la incertidumbre de los resultados obtenidos durante la investigación detallada, pueden no haberse detectado puntos en los que se superen los NGR o los valores objetivo definidos por el Análisis Cuantitativo de Riesgos. Estas situaciones son más comunes en terrenos con dificultades para ubicar puntos de muestreo cercanos a los posibles focos, como ocurre habitualmente en instalaciones industriales activas. Por otro lado, también ocurre en aquellos terrenos con baja permeabilidad o muy heterogéneos, lo cual supone en estos casos la presencia de focos secundarios y plumas de pequeña superficie (aunque en profundidad pueden ser importantes), de difícil detección.

9.3 Condiciones ambientales iniciales

Se deberá exponer brevemente la información necesaria para entender la justificación del diseño realizado, como:

- a) Datos más relevantes de los estudios de suelos y análisis cuantitativo de riesgos
 - Descripción resumida de los trabajos efectuados, sondeos, muestreos, etc.
 - Características geológicas e hidrogeológicas.
 - Niveles de fondo de compuestos de interés y condiciones geoquímicas principales.
 - Compuestos de interés analizados y/o detectados.
 - Afección detectada en suelo y agua subterránea. Concentraciones, distribución y masa estimada.
 - Resultados del Análisis Cuantitativo de Riesgos, riesgos y concentraciones residuales admisibles.
- b) Modelo conceptual.

Se incluirá un resumen del modelo empleado en el Análisis Cuantitativo de Riesgos, explicando:

- i. Focos
- ii. Vías de exposición
- iii. Receptores

9.4 Plan de control y seguimiento

9.4.1 Diseño red de control. Justificación

La red de control se adecuará a los objetivos generales y particulares y se considera al menos:

9.4.1.1 Muestreo de la pluma de afección.

Esta medición puede ser realizada directamente (en el caso de aguas superficiales o vapores) o indirectamente (en el caso de suelos sin presencia permanente de aguas subterráneas y/o contaminantes no volátiles), por ello el diseño puede incluir el muestreo de distintos medios en función de las condiciones, como :

Aguas subterráneas

1. Un punto aguas arriba en zona no afectada, como control de las condiciones geoquímicas y para delimitar afecciones de terceros al predio.
2. Dos puntos aguas abajo de la zona afectada para poder controlar la evolución de la pluma en las tres dimensiones (x, y, z).
3. En lo posible es recomendable contar con un punto de control aguas abajo en una zona limpia en la generatriz de la pluma, que sirva de control para posibles receptores.

Suelos

1. Se considerará la utilidad de contar con una red de pozos de control de compuestos volátiles o semivolátiles, la cual estará orientada a evaluar, tanto la evolución de la masa de afección, como la posibilidad de migración a zonas donde se puedan generar situaciones de riesgo. Como mínimo se considerará una red de: tres pozos de control ubicados en los bordes de la zona afectada y un pozo en la dirección de posibles puntos de riesgo (viviendas, etc.).

Aguas superficiales

1. En corrientes superficiales, se considera un punto de muestreo aguas arriba y otro en la zona estimada de mayor emisión (centro de la pluma en su zona de salida al cauce).
2. En masas de agua, se considera un punto de control en una zona limpia y otro en el punto de máxima emisión estimada.

9.4.1.2 Perímetros de protección

En caso de existir pozos de agua para consumo en las proximidades, se recomienda, contar con puntos de muestreo en el límite del perímetro de protección de los mismos, de forma que se disponga de un plazo de tiempo razonable para actuar en caso de observarse afección. Los puntos de control pueden ser existentes (pozos, galerías, manantiales, fuentes, etc.) o construirse específicamente para dicho uso.

9.4.2 Programa analítico y niveles objetivos. Justificación.

El programa se adecuará a los puntos de control, debiendo desarrollarse para:

- i) La pluma de afección.
- ii) Perímetros de protección.

El programa analítico tendrá en cuenta:

- Los contaminantes que superan los NGR o que han sido detectados no teniendo todavía un NGR definido en:

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. BOE nº 15, de 18 de enero de 2005.

ORDEN 2770/2006, de 11 de agosto, del Consejero de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, por la que se procede al establecimiento de niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos contaminados de la Comunidad de Madrid. BOCM nº 204 de 28 de agosto de 2006.

ORDEN 761/2007, de 2 de abril, del Consejero de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, por la que se modifica la ORDEN 2770/2006, de 11 de agosto, por la que se establecen niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza de suelos contaminados de la Comunidad de Madrid. BOCM nº 98 de 26 de abril de 2007.

- Otros contaminantes que, aunque no superen los NGR o no se hayan detectado en la investigación realizada, se crea importante monitorizar dado que existan potenciales focos, sean bioacumulativos, tóxicos y persistentes.
- Parámetros geoquímicos con influencia en el Modelo Conceptual o en los procesos de recuperación tales y como: pH, temperatura, COT, O_{2aq} , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Fe^{2+} , S^{2-} , ORP, Mn^{4+} , conductividad, alcalinidad, etc.
- Trazadores, compuestos que por su baja degradabilidad o pequeño retardo, pueden emplearse para determinar con precisión el límite de la pluma contaminante en agua, así como la velocidad real de dicho medio. (p.e. trimetilbencenos, MTBE, ETBE, cloruro, etc.).
- Compuestos originados en procesos degradativos y que pueden indicar la preexistencia de un contaminante en dicho punto o aguas arriba del mismo (p.e. cloruro de vinilo, eteno, etc.).

Se deberán explicar brevemente:

- Los parámetros a muestrear
- La metodología de muestreo
- Sistema de envasado, conservación y transporte
- Técnica analítica y precisión
- Plan de control de calidad, que incluirá al menos:
 - Metodología de control en el transporte. Cadena de custodia y verificación de condiciones de llegada a laboratorio (integridad, temperatura, etc).
 - Evaluación de incertidumbres durante:
 - Muestreo (muestras de material limpio tomado con equipos empleados).
 - Transporte (blancos de control).

- Laboratorio (muestras duplicadas, ensayos interlaboratorio, etc.).
- En caso de emplearse mediciones en campo, se deberá justificar el % de muestras a enviar a laboratorio para control.

9.4.3 Periodicidad del muestreo. Justificación.

Los plazos de muestreo se deben adecuar a los tiempos estimados de transporte de un contaminante desde un foco a los potenciales receptores de forma que se cuente con un plazo razonable para actuar en caso de alarma. Esto vendrá condicionado tanto por las características de los focos y vías de exposición, como por las posibilidades de ubicación de los puntos de control. Por ello, es difícil definir unos plazos rígidos de tiempo y se recomienda que estos sean específicos del emplazamiento y justificados de acuerdo a lo comentado en el punto 6.5.1.2.2. y los objetivos del plan.

En el caso de los suelos donde no existe riesgo, se considera que la periodicidad debe ser suficiente como para controlar la evolución de las concentraciones en función de la variabilidad estacional.

9.4.4 Informes periódicos de control y seguimiento

A continuación se expone un índice de lo que deben contener los informes periódicos de control y seguimiento en este tipo de emplazamientos:

- 1) Objetivos y antecedentes
- 2) Valores objetivo para el emplazamiento
 - a) En caso de haberse realizado un Análisis Cuantitativo de Riesgos, los valores residuales admisibles establecidos.
 - b) Si no se dispone de Análisis Cuantitativo de Riesgos, en suelos se consideraran los correspondientes a los NGR, y en aguas los valores de intervención de la Norma Holandesa y, en el futuro, los Valores Umbrales de la Directiva 2006/118/CE, de 12 de diciembre de 2006, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.
- 3) Operaciones realizadas
 - a) Muestreo de aguas

- i) En caso de aguas subterráneas, incluir los datos de purga y muestreo (tipo de bomba o muestreador, caudal, tiempo, descensos, recuperación) y parámetros evaluados durante la estabilización (conductividad, pH, temperatura, potencial redox, alcalinidad, oxígeno disuelto, alcalinidad, etc.).
 - b) Muestreo de vapores ocluidos en el subsuelo
 - i) Indicar la metodología y condiciones del muestreo.
 - c) Mediciones de piezometría
- 4) Datos obtenidos en las operaciones realizadas
 - a) Pluma contaminante en agua.
 - b) Pluma de vapores contaminante.
 - c) Isopiezas en agua, gradiente y dirección.
- 5) Evolución e interpretación de los parámetros evaluados
 - a) Evolución de todos los parámetros evaluados por punto de control.
 - b) Evolución de las plumas contaminantes (cambios en las dimensiones y geometría, cambios en la masa, determinación de procesos de Atenuación Natural, plumas crecientes, en equilibrio o menguantes).
 - c) Evolución de las condiciones hidrogeoquímicas (procesos de biodegradación)
 - d) Evolución de las condiciones hidráulicas, especialmente en consideración al control de la pluma, perímetros de protección y emisiones generadas en puntos de vertido (corrientes y masas de agua superficiales).
 - e) Reevaluación del Esquema Conceptual.
- 6) Conclusiones y recomendaciones
 - a) Conclusiones, indicar si la evolución es acorde a lo esperado y en caso contrario indicar las posibles razones, indicar posibles mejoras, resultado de la reevaluación del modelo conceptual, indicar si se están produciendo procesos de biodegradación y atenuación natural.
 - b) Recomendaciones, en caso de desviaciones de la evolución esperada se debe presentar un plan de acción valorando incluso la implementación de trabajos de descontaminación. En caso de modificación del modelo conceptual se debe indicar si son necesarias modificaciones en la selección de los puntos de control.
- 7) PLANOS
 - a) Ubicación
 - b) Plano general de la instalación
 - c) Plano de isopiezas
 - d) Planos de isoconcentraciones (agua y vapores)

- e) Plano de puntos de control
- 8) ANEXOS
 - a) Esquema del modelo conceptual actualizado
 - b) Hojas de muestreo y cadenas de custodia
 - c) Resultados de los análisis de laboratorio

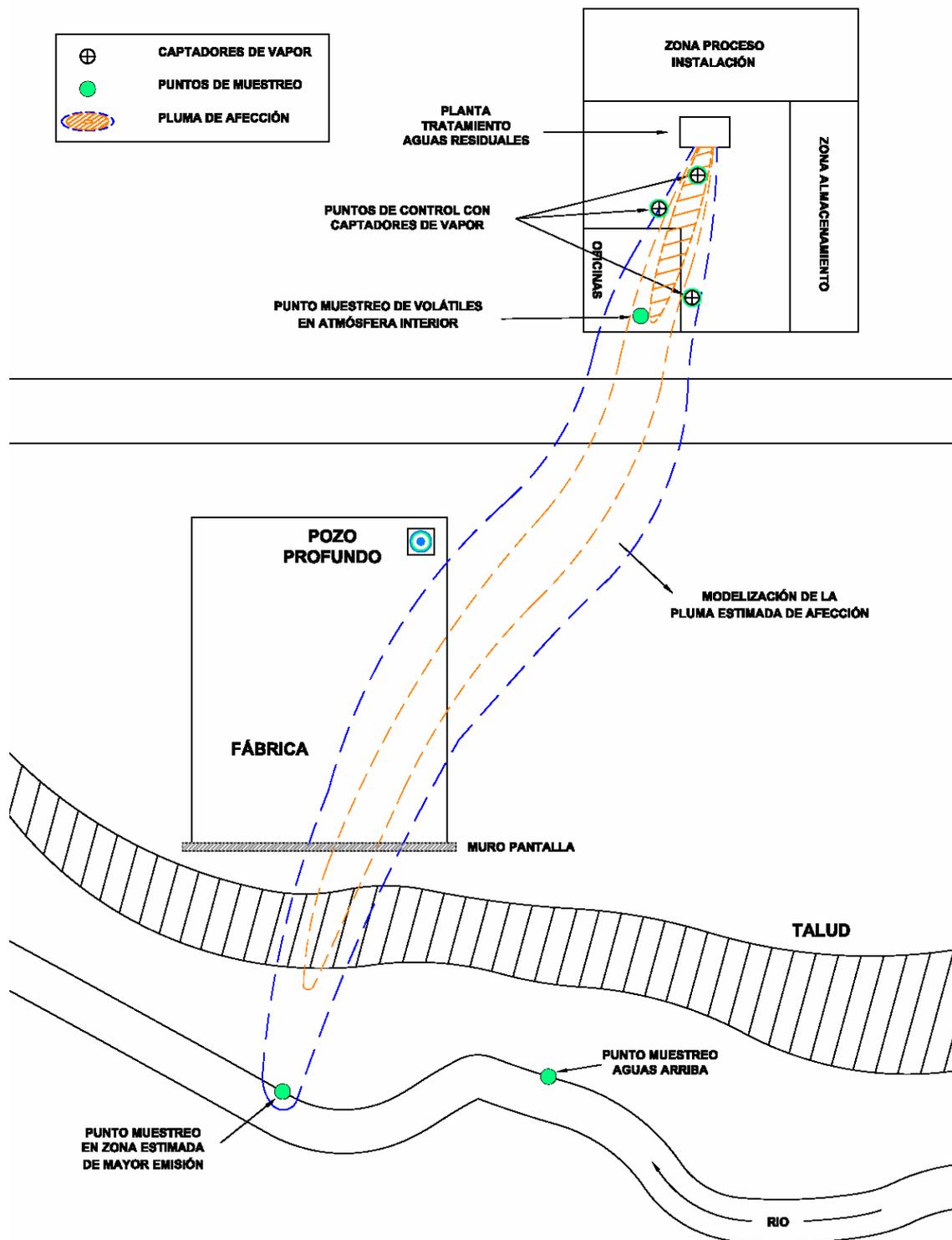


Figura 9.1. Ejemplo PCS en emplazamiento con indicios de afección

CAPITULO 10 EMPLAZAMIENTOS CON ELEVADA VULNERABILIDAD

Contenido del Plan de Control y seguimiento:

10.1 Antecedentes

Se incluirá una breve explicación cronológica de los pasos dados hasta definir el entorno del emplazamiento como de alta vulnerabilidad, con especial referencia a:

- Informes, estudios e investigaciones realizadas, con indicación expresa de fecha de ejecución, presentación a la administración competente, y procedimiento en que se incluye, requerimientos y resoluciones de la administración.
- Síntesis de los aspectos más significativos y conclusiones de los estudios e investigaciones realizadas.

10.2 Objetivos

El objetivo principal de estos trabajos es el de detectar rápidamente procesos de contaminación a través del control de la calidad de las aguas subterráneas, dada la alta vulnerabilidad del medio.

No obstante, también existen otros objetivos particulares que deben tenerse en cuenta, entre ellos:

- Detección rápida de focos activos de afección.
- Establecimiento de actuaciones para eliminación de focos activos.
- Controlar la aparición de nuevas vías de exposición (pozos, galerías, zanjas, modificaciones en el pavimento, etc.).
- Evaluar periódicamente potenciales receptores (cambios de uso en las zonas aledañas, etc.).

10.3 Condiciones ambientales iniciales

Se deberá exponer brevemente la información necesaria para entender la justificación del diseño realizado, como:

- a) Datos más relevantes del estudio de suelos.

- Descripción resumida de los trabajos efectuados, sondeos, muestreos, etc.
 - Características geológicas e hidrogeológicas.
 - Niveles de fondo de compuestos de interés y condiciones geoquímicas principales.
 - Compuestos de interés analizados.
- b) Modelo conceptual.

Se deberá desarrollar el mismo, explicando:

- i. Potenciales Focos
- ii. Potenciales Vías de exposición
- iii. Potenciales Receptores

10.4 Plan de control y seguimiento

10.4.1 Diseño red de control. Justificación

La red de control, se adecuará a los objetivos generales y particulares y se considera al menos:

10.4.1.1 Muestreo del agua

1. Un punto aguas arriba de los potenciales focos, como control de las condiciones geoquímicas y para deslindar afecciones de terceros al predio.
2. Dos puntos aguas abajo de la zona de potenciales focos para poder controlar la evolución de la pluma en las tres dimensiones (x, y, z).
3. En lo posible es recomendable contar con un punto de control aguas abajo en una zona limpia en la generatriz de la potencial pluma, que sirva de control para posibles receptores.

10.4.1.2 Perímetros de protección

En caso de existir pozos de agua para consumo en las proximidades, se deberá contar con puntos de muestreo en el límite del perímetro de protección de los mismos, de forma que se disponga de un plazo de tiempo razonable para actuar en caso de

observarse afección. Los puntos de control pueden ser existentes (pozos, galerías, manantiales, fuentes, etc) o construirse específicamente para dicho uso.

10.4.2 Programa analítico y niveles objetivos. Justificación.

El programa se adecuará a los puntos de control, debiendo desarrollarse para:

- i) El agua subterránea.
- ii) Perímetros de protección.

El programa analítico tendrá en cuenta:

- Contaminantes de interés que, aunque no se hubiesen detectado en la investigación realizada, se crea importante monitorizar dado que existan potenciales focos, sean bioacumulativos, tóxicos y persistentes.
- Trazadores, compuestos que por su baja degradabilidad o pequeño retardo, pueden emplearse para determinar la existencia de un foco. (p.e. trimetilbencenos, MTBE, ETBE, cloruro, etc.).
- Compuestos originados en procesos degradativos y que pueden indicar la existencia de un foco de afección en dicho punto o aguas arriba del mismo (p.e. cloruro de vinilo, eteno, etc.).

Se deberán explicar brevemente:

- Los parámetros a muestrear
- La metodología de muestreo
- Sistema de envasado, conservación y transporte
- Técnica analítica y precisión
- Plan de control de calidad, que incluirá al menos:
 - Metodología de control en el transporte. Cadena de custodia y verificación de condiciones de llegada a laboratorio (integridad, temperatura, etc.).
 - Evaluación de incertidumbres durante:
 - Muestreo (muestras de material limpio tomado con equipos empleados).
 - Transporte (blancos de control).
 - Laboratorio (muestras duplicadas, ensayos interlaboratorio, etc.).

- En caso de emplearse mediciones en campo, se deberá justificar el % de muestras a enviar a laboratorio para control.

10.4.3 Periodicidad del muestreo. Justificación.

Los plazos de muestreo se deben adecuar a los tiempos estimados de transporte de un contaminante desde un foco a los posibles receptores de forma que se cuente con un plazo razonable para actuar en caso de alarma. Esto vendrá condicionado tanto por las características de los focos y vías de exposición, como por las posibilidades de ubicación de los puntos de control. Por ello, es difícil definir unos plazos rígidos de tiempo y se recomienda que estos sean específicos del emplazamiento y justificados de acuerdo a lo comentado en el punto 6.5.1.2.2. y los objetivos del plan.

En el caso de los suelos con alta vulnerabilidad, se considera que la periodicidad debe ser suficiente para que permita controlar la evolución de las concentraciones en función de la variabilidad estacional.

10.4.4 Informes periódicos de control y seguimiento

A continuación se expone un índice de lo que deben contener los informes periódicos de control y seguimiento en este tipo de emplazamientos:

- 1) Objetivos y antecedentes
- 2) Operaciones realizadas
 - a) Muestreo de aguas
En caso de aguas subterráneas, incluir los datos de purga y muestreo (tipo de bomba o muestreador, caudal, tiempo, descensos, recuperación) y parámetros evaluados durante la estabilización (conductividad, pH, temperatura, potencial redox, alcalinidad, oxígeno disuelto, alcalinidad, etc.).
 - b) Muestreo de vapores ocluidos en el subsuelo
Indicar la metodología y condiciones del muestreo.
 - c) Mediciones de piezometría
- 3) Datos obtenidos en las operaciones realizadas
 - a) Pluma contaminante en agua.
 - b) Pluma de vapores contaminante.
 - c) Isopiezas en agua, gradiente y dirección.
- 4) Evolución e interpretación de los parámetros evaluados

- a) Evolución de todos los parámetros evaluados por punto de control.
 - b) Evolución de las condiciones hidrogeoquímicas (procesos de biodegradación).
 - c) Evolución de las condiciones hidráulicas, especialmente en consideración al control y perímetros de protección.
 - d) Reevaluación del Esquema Conceptual.
- 5) Conclusiones y recomendaciones
- a) Conclusiones, indicar si la evolución es acorde a lo esperado y en caso contrario indicar las posibles razones, indicar posibles mejoras, resultado de la reevaluación del modelo conceptual, indicar si se están produciendo procesos de biodegradación y atenuación natural.
 - b) Recomendaciones, en caso de desviaciones de la evolución esperada se debe presentar un plan de acción valorando incluso la implementación de trabajos de descontaminación. En caso de modificación del modelo conceptual se debe indicar si son necesarias modificaciones en la selección de los puntos de control.
- 6) PLANOS
- a) Ubicación
 - b) Plano general de la instalación
 - c) Plano de isopiezas
 - d) Planos de isoconcentraciones (agua y vapores)
 - e) Plano de puntos de control
- 7) ANEXOS
- a) Esquema del modelo conceptual actualizado
 - b) Hojas de muestreo y cadenas de custodia
 - c) Resultados de los análisis de laboratorio

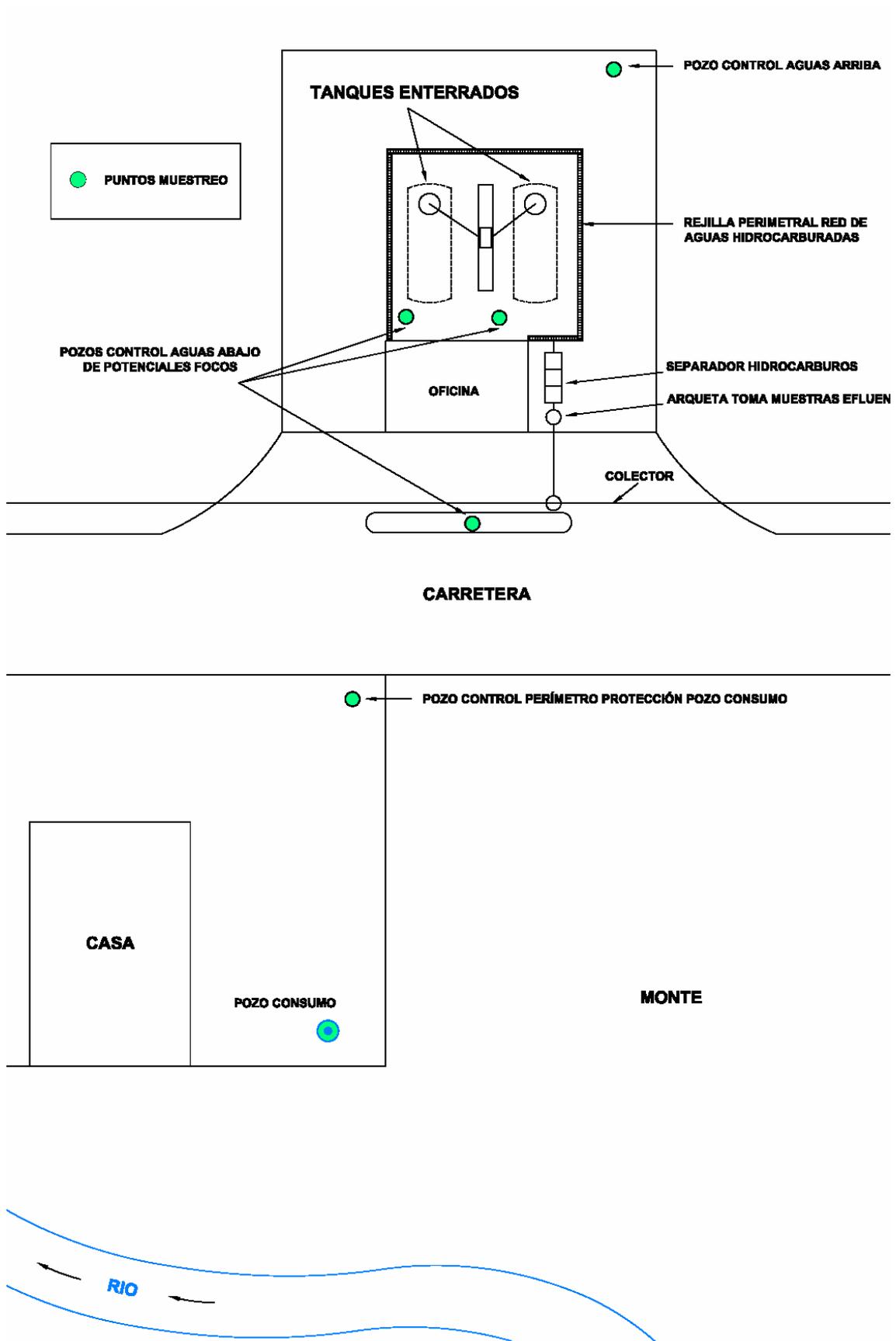


Figura 10.1. Ejemplo PCS en emplazamientos de alta vulnerabilidad

CAPITULO 11 BIBLIOGRAFÍA

- Acuerdo de 25 de octubre de 2001, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Plan Regional de Actuación en materia de Suelos Contaminados de la Comunidad de Madrid. BOCM nº 283, 28 de noviembre.
- API, 2005. Collecting and interpreting soil gas samples from the vadose zone. Publication number 4741, November 2005. Washington, DC.
- ASTM D4448-01, 2007. Standard Guide for Sampling Groundwater Monitoring Wells.
- ASTM D5314-92 e1. Standard Guide for Soil Gas Monitoring in the Vadose Zone.
- ASTM D5903-96, 2006. Standard Guide for Planning and Preparing for a Groundwater Sampling Event.
- ASTM D6452-99, 2005. Standard Guide for Purging Methods for Wells Used for Groundwater Quality Investigations.
- Circular on target values and intervention values for soil remediation. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (MVRM). The Hague. Februari 4th, 2000.
- Comisión de las Comunidades Europeas, 2006. Estrategia temática para la protección del suelo. COM(2006) 231 final. Bruselas, 22.9.2006.
- Comisión de las Comunidades Europeas, 2002. Hacia una estrategia temática para la protección del suelo. COM(2002) 179 final. Bruselas, 16.4.2002.
- Comisión de las Comunidades Europeas, 1998. Sobre una estrategia comunitaria en materia de biodiversidad. COM(1998) 42 final. Bruselas, 4.2.1998. http://aei.pitt.edu/5088/01/001456_1.pdf
- Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones. Hacia una estrategia temática para la protección del suelo. COM(2002) 179 final. Bruselas, 16.4.2002. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2002:0179:FIN:ES:PDF>
- Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo. Sobre Políticas y medidas de la UE para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero: Hacia un Programa Europeo sobre el Cambio Climático (PECC). COM(2000) 88 final. Bruselas, 8.3.2000. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2000:0088:FIN:ES:PDF>

- Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Estrategia temática para la protección del suelo. COM(2006) 231 final. Bruselas, 22.9.2006. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0231:FIN:ES:PDF>
- Comunidad de Madrid, 2004. Guía de Investigación de la Calidad del Suelo. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.
- Comunidad de Madrid, 2004. Guía de Análisis de Riesgos para la Salud Humana y los Ecosistemas. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.
- Comunidad de Madrid, 2004. Guía de Tecnologías de recuperación de suelos contaminados. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.
- Comunidad de Madrid, 2005. Identificación y caracterización de actividades potencialmente contaminantes de suelos en la Comunidad de Madrid. Plan Regional de Actuaciones en Materia de Suelos Contaminados de la Comunidad de Madrid (2001-2006). Programa de actuaciones preventivas. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental (Informe inédito).
- Convención Internacional de Lucha Contra la Desertificación en los Países Afectados por Sequía Grave o Desertificación, en Particular en África, Naciones Unidas (17 de junio de 1994). <http://www.unccd.int/convention/text/pdf/conv-spa.pdf>
- Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático, Naciones Unidas 1992 . <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Convenio Sobre la Diversidad Biológica en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Río de Janeiro, 3 a 14 de junio de 1992). <http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Decisión nº 1600/2002/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de julio de 2002, por la que se establece el Sexto Programa de Acción Comunitario en Materia de Medio Ambiente. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:242:0001:0015:ES:PDF>
- Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano. La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, reunida en Estocolmo del 5 al 16 de junio de 1972. <http://www.pnuma.org/docamb/mh1972.php>

- Decreto 199/2006, de 10 de octubre, por el que se establece el sistema de acreditación de entidades de investigación y recuperación de la calidad del suelo y se determina el contenido y alcance de las investigaciones de la calidad del suelo a realizar por dichas entidades. Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. nº 213 ZK. BOPV N.º 213 ZK.- miércoles 8 de noviembre de 2006.
- Decreto 326/1999, de 18 de noviembre, por el que se regula el régimen jurídico de los suelos contaminados de la Comunidad de Madrid. (BOCM nº 280 de 25 de noviembre de 1999. Corrección de errores: BOCM de 2 de diciembre de 1999).
- Directiva 2004/35/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de abril de 2004, sobre Responsabilidad Medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:143:0056:0075:ES:PDF>
- Directiva 2006/118/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.
- Directiva 91/414/CEE del Consejo, de 15 de julio de 1991, relativa a la comercialización de productos fitosanitarios. DOCE L/230, de 19 de agosto de 1991. P. 001-0032.
- Directiva 96/62/CE del Consejo, de 27 de septiembre de 1996, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente. DOCE L/296, de 21 de noviembre de 1996.
- Foster S. y R. Hirata. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Una metodología basada en datos existentes. CEPIS: 1-81. Lima 1991.
- IHOBE, S.A. 1998a. Guía metodológica para la Investigación de la contaminación del suelo. Análisis químico. Gobierno Vasco. Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente.
- IHOBE, S.A. 1998b. Guía metodológica para la Investigación de la contaminación del suelo. Estudio histórico y diseño de muestreo. Gobierno Vasco. Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente.
- IHOBE, S.A. 1998c. Guía metodológica para la Investigación de la contaminación del suelo. Toma de muestras. Gobierno Vasco. Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente.

- ISO 5667-3. Water quality – Sampling. Part 3: Guidance on the preservation and handling of water samples. Third edition 2003-12-15.
- ISO 10381-7: 2005. Soil quality – Sampling – Part 7. Guidance on sampling of soil gas.
 - Ley 2/2002, de 19 de junio, de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid. BOCM nº 154 de 1 de julio de 2002.
 - Ley 5/2003, de 20 de marzo, de Residuos de la Comunidad de Madrid. BOCM nº 76 de 31 de marzo de 2003.
 - Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. BOE nº 96, de 22 de abril de 1998.
 - Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. BOE nº 157 de 2 de julio de 2002.
 - Mcmillen, S.J., KERR, J.M., NAKLES, D.V.; 2001.- Composition of Crude Oils and Gas Condensates. En: Mcmillen, S.J., MAGAW, R.I. & CAROVILLANO, R.L.(eds), 2001.- Risk-Based Decisión-Making for Assessing Petroleum Impacts at Exploration and Production Sites. Chevron Research and Technology Company, CH2m Hill. US.
 - Michigan Department of Natural Resources (DNR). Guidance Document, Verification of Soil Remediation. April 1994, Revision 1. Environmental Response Division, Waste Management Division.
- Ministerio de Medio Ambiente, 2007. Manual de fichas de actividades potencialmente contaminadas de suelos en relación con el Real Decreto 9/2005. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental.
 - Minnesota Department of Agriculture. Soil Sampling Guidance. Guidance Document 11. Pesticide & Fertilizer Management Division.
- Orden MAM/3207/2006, de 25 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción técnica complementaria MMA-EECC-1/06, se definen los métodos o técnicas analíticas que se pueden utilizar para cada uno de los ensayos en la determinación de la calidad de las aguas, los cuales también pueden servir de guía para los análisis de las aguas subterráneas. BOE nº 250, de 19 de octubre.
 - Orden 2770/2006, de 11 de agosto, del Consejero de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, por la que se procede al establecimiento de niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos contaminados de la Comunidad de Madrid. BOCM nº 204 de 28 de agosto de 2006.
- Orden 761/2007, de 2 de abril, del Consejero de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, por la que se modifica la Orden 2770/2006, de 11 de agosto, por

la que se establecen niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza de suelos contaminados de la Comunidad de Madrid. BOCM nº 98 de 26 de abril de 2007.

- Plan Regional de Suelos Contaminados de la Comunidad de Madrid (2006-2016). Aprobado mediante acuerdo de 18 de noviembre de 2007, del Consejo de Gobierno, Estrategia de Residuos de la Comunidad de Madrid. BOCM nº 263 de 5 de noviembre de 2007.
- Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco para la protección del suelo y se modifica la Directiva 2004/35/CE. COM(2006) 232 final. Bruselas, 22.9.2006. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0232:FIN:ES:PDF>
- Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático, Naciones Unidas 1998. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- 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. BOE nº 15, de 18 de enero de 2005.
- U.S. Dept. of Agriculture. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. 1951. Soil Survey Manual. U.S. Dept. of Agric. Handb. 18. U.S. Govt. Print. Off. Washington, DC. 503 pp., illus
- US-EPA, 1993. Ground Water Sampling – A Workshop Summary. Dallas, Texas.
- US-EPA, 1996. Soil Gas Sampling. SOP 2042 – 06/01/96
- U.S. E.P.A., An Overview of Methods for Evaluating the Attainment of Cleanup Standards for Soils, Solid Media, and Groundwater, EPA Volumes 1, 2 and 3. R.O. Gilbert et al. January 1996. Pacific Northwest National Laboratory Operated for the U.S. Department of Energy by Battelle.
- U.S. E.P.A., Methods for Evaluating the Attainment of Cleanup Standards. Volume 1: Soil. EPA 230/02-89-042, February 1989. Office of Policy, Planning and Evaluation.
- U.S. E.P.A., Soil Screening Guidance: Technical Background Document. EPA/540/R95/128. May 1996. Office of Solid Waste and Emergency Response.
- U.S. E.P.A., Soil Screening Guidance: User's Guide. Publication 9355.4-23. July 1996. Office of Solid Waste and Emergency Response.

- U.S. E.P.A., Superfund Program Representative Sampling Guidance. Volume 1: Soil. OSWER Directive 9360.4-10. EPA 540/R-95/141. December 1995. Environmental Response Team.

ANEXO 1 DETERMINACIÓN DE LA PERIODICIDAD DEL MUESTREO

Este procedimiento para el cálculo del plazo de muestreo se basa en el tiempo que una pluma contaminante en el agua subterránea tardaría en recorrer, la distancia entre el punto de muestreo y el punto de exposición evaluado.

Para ello se utilizaran las siguientes formulas:

$$V_{GW} = \frac{K \times i}{n_{ef}}$$

donde:

V_{GW} = velocidad del agua subterránea

K = conductividad hidráulica

i = gradiente del nivel freático

n_{ef} = porosidad efectiva

La distancia en la dirección del gradiente recorrida por el agua en un plazo de tiempo t, sería:

$$L = V_{GW} \times t$$

A continuación, se adjunta una tabla con datos característicos de distintas litologías granulares, calculando una distancia de desplazamiento en un plazo de 6 meses (considerado óptimo para implementar acciones de recuperación).

Litología	K min	K max	i	n_{ef} max	n_{ef} min	V min	V max	L min	L max
Arcilla	9E-05	0,05	0,05	0,2	0,1	2E-05	0,025	0,004	4,5
Limos	0,0009	0,9	0,01	0,3	0,01	3E-05	0,9	0,005	162
Arena limosa	0,009	90	0,005	0,3	0,05	2E-04	9	0,027	1620
Arena fina	0,9	9	0,005	0,3	0,1	0,015	0,45	2,7	81
Arena media	9	90	0,001	0,3	0,15	0,03	0,6	5,4	108
Arena gruesa	90	900	0,001	0,35	0,2	0,257	4,5	46,29	810
Gravas	90	9000	0,0001	0,35	0,1	0,026	9	4,629	1620
MEDIA GEOM	0,09	11,98	0,00	0,29	0,07	0,00	1,12	0,41	380

En el cálculo de la media geométrica de la distancia máxima recorrida en un plazo de 6 meses (L max), no se ha considerado el valor para la arcilla, dado que en este caso el riesgo es muy bajo y, por otro lado, es poco probable contar con un nivel de agua subterránea importante.

Por lo tanto, la distancia media geométrica recorrida en un plazo de 6 meses por el agua subterránea sería del orden de 380 metros.

Por otro lado, el contaminante en general no se mueve a la velocidad del agua dado que sufre distintos procesos que se traducen en un retardo con respecto a la misma. Así, se calculará el retardo sufrido por los compuestos orgánicos que en este momento disponen de NGR definido en el Real Decreto 9/2005, de 14 de enero.

El retardo se calcula para los compuestos orgánicos según:

$$R = 1 + \frac{k_d \times \rho_s}{n_{ef}}$$

Donde:

R = factor de retardo

k_d = coeficiente de distribución suelo / agua = $k_{oc} \times f_{oc}$

k_{oc} = coeficiente de reparto carbón orgánico del suelo / agua

f_{oc} = fracción de carbón orgánico

ρ_s = densidad suelo

n_{ef} = porosidad efectiva

La velocidad del contaminante se calcula de acuerdo a:

$$V_C = \frac{V_{GW}}{R}$$

Por lo que la distancia recorrida por el contaminante (L_C) será igual a:

$$L_C = \frac{L}{R}$$

A continuación se adjunta un tabla con el calculo de R (factor de retardo) para los compuestos orgánicos considerados en el RD 9/2005, de 14 de enero, considerando

unos valores típicos de densidad, porosidad efectiva y fracción de carbono orgánico. El valor de la fracción de carbono orgánico tomado es suficientemente conservador.

d	1,6
nef	0,19
foc	0,001

Compuesto	Koc	R
1,1-Dicloroetano.	3,16E+01	1,1
1,2-Dicloroetano.	1,74E+01	1,1
1,1,2-Tricloroetano.	5,01E+01	1,2
1,1,2,2-Tetracloroetano.	9,33E+01	1,3
Tricloroetileno.	1,66E+02	1,5
Tetracloroetileno.	1,55E+02	1,5
1,2-Dicloropropano.	4,37E+01	1,1
1,3-Dicloropropeno.	4,57E+01	1,2
Acenafteno.	7,08E+03	24,3
Acetona.	5,75E-01	1,0
Aldrin.	2,45E+06	8060,2
Antraceno.	2,95E+04	98,0
Benzo(a) antraceno.	3,98E+05	1310,2
Benceno.	5,89E+01	1,2
Clorobenceno.	2,19E+02	1,7
1,2-Diclorobenceno.	6,17E+02	3,0
1,4-Diclorobenceno.	6,17E+02	3,0
1,2,4-Triclorobenceno.	1,78E+03	6,9
p-Cloroanilina.	6,61E+01	1,2
Clordano.	1,20E+05	395,7
Cloroformo.	3,98E+01	1,1
p,p'-DDE.	4,47E+06	14704,9
p,p'-DDT.	2,63E+06	8652,3
Dieldrin.	2,14E+04	71,4
Endosulfan.	2,14E+03	8,0
Endrin.	1,23E+04	41,5
Estireno.	7,76E+02	3,6
Etilbenceno.	3,63E+02	2,2
Fenol.	2,88E+01	1,1
2-Clorofenol.	3,88E+02	2,3
2,4-Diclorofenol.	1,47E+02	1,5
2,4,5-Triclorofenol.	1,60E+03	6,3
2,4,6-Triclorofenol.	3,81E+02	2,3
Pentaclorofenol.	5,92E+02	2,9
Fluoranteno.	1,07E+05	353,0
Fluoreno.	1,38E+04	46,4
Hexacloro benceno.	5,50E+04	181,9
Hexacloro butadieno.	5,37E+04	177,6
Hexaclorociclohexanoalfa.	1,23E+03	5,0
Hexaclorociclohexanobeta.	1,26E+03	5,1
Hexaclorociclohexanogamma.	1,07E+03	4,5
Hexacloroetano.	1,78E+03	6,9
Naftaleno.	2,00E+03	7,6
Pireno.	6,80E+04	224,7
Benzo(a)pireno.	6,96E+05	2290,5
Tetracloruro de carbono.	1,52E+02	1,5
Tolueno.	1,40E+02	1,5
Xileno.	3,11E+02	2,0
Media geom		11,2

Como se puede observar, para un caso típico la mayoría de los contaminantes tienen un factor de retardo próximo a 2.

Seleccionando los compuestos más comúnmente encontrados en suelos contaminados en la Comunidad de Madrid, se obtienen los siguientes datos:

Compuesto	R
Tetracloroetileno.	1,5
Benceno.	1,2
Cloroformo.	1,1
Etilbenceno.	2,2
Tetracloruro de carbono.	1,5
Tolueno.	1,5
Xileno.	2,0
Media geométrica	1,5

A continuación, utilizando el dato de la distancia media máxima recorrida por el agua en un plazo de 6 meses, y considerando el retardo calculado anteriormente (1,5), se calculará el plazo de tiempo para que este contaminante recorra una distancia dada entre el punto de muestreo y el punto de exposición y, por lo tanto, el plazo recomendable entre muestreos o periodicidad.

Distancia	Retardo	Plazo Meses	Propuesta
50	1,5	1,18	1
100	1,5	2,37	2
150	1,5	3,55	3
200	1,5	4,74	4
250	1,5	5,92	5
300	1,5	7,10	6

Por lo tanto, para que el plazo de 6 meses entre muestreos sea válido, se debe contar con al menos unos 250 metros de distancia entre el punto de muestreo y el punto de exposición.

Considerando este cálculo y teniendo en cuenta los distintos casos contemplados en la guía, surge inmediatamente un nuevo factor: la concentración de los contaminantes en la situación de partida (sin nuevos focos), que influye en la velocidad de llegada de una concentración que genere riesgo en el punto de exposición. Por ello se propone emplear un factor de corrección que contemple este factor de la siguiente manera:

- En instalación bajo remediación (caso A), se considera que las concentraciones de partida en los focos considerados están ya por encima del valor de riesgo, por lo que se propone reducir los plazos de muestreo un 50%.
- En instalaciones ya remediadas (caso B), se supone que las concentraciones están por debajo del nivel de riesgo, pero pueden estar cercanas, así que se propone una reducción de los plazos en un 25%.
- Lo mismo se aplica a las instalaciones con afección pero sin riesgo y con indicios de afección (caso C).
- En las instalaciones sin indicios de afección no se aplica ningún factor de corrección (caso D).

Teniendo esto en cuenta (y redondeando los resultados al entero mayor) se proponen los siguientes plazos de monitoreo (en meses) en función de los casos contemplados y las distancias entre los focos y los receptores:

		DISTANCIA AL RECEPTOR					
CASO	FACTOR C.	50	100	150	200	250	300
A	0,5	1	1	2	2	3	3
B	0,75	1	2	3	3	4	5
C	0,75	1	2	3	3	4	5
D	1	1	2	3	4	5	6

Se recomienda que, aunque la distancia sea mayor a 300 m, no se aumente el plazo de muestreo indicado para ese caso.

Estos cálculos son simplificados y sólo sirven para ilustrar casos medios desde un punto de vista conservador. Se debe tener en cuenta que no se han tenido en consideración otras variables importantes del proceso de movilización de los contaminantes como puedan ser el factor de infiltración, la dispersividad en la dirección del eje x, los factores de atenuación natural, etc.

Por lo tanto, lo recomendable es, en cada caso particular, justificar adecuadamente la periodicidad del muestreo en función de la distancia entre el punto de muestreo y el punto de exposición.