

DOCUMENTO GUÍA PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS EN VERTEDEROS

2015



EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

INGURUMEN ETA LURRALDE
POLITIKA SAILA

DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE
Y POLÍTICA TERRITORIAL

DOCUMENTO GUÍA PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS EN VERTEDEROS

2015

Fecha Septiembre 2015

Dirección técnica IHOBE

Asistencia técnica

iragaz

Propietario

Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente y
Política Territorial

http://www.euskadi.eus/web01-s2ing/es/contenidos/documentacion/guia_riesgos_vertederos/es_def/index.shtml



1	OBJETO DEL DOCUMENTO	2
2	CONTEXTO NORMATIVO	3
3	ALCANCE DE LA EVALUACIÓN DE RIESGOS	5
4	REDACCIÓN DEL DOCUMENTO DE EVALUACIÓN DE RIESGOS	6
4.1	DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DEPOSITADOS EN EL VERTEDERO..	7
4.2	ANÁLISIS DE DATOS HISTÓRICOS	8
4.3	REALIZACIÓN DEL INVENTARIO AMBIENTAL DE LA ZONA.....	9
4.3.1	<i>Situación geográfica</i>	10
4.3.2	<i>Fauna y vegetación</i>	10
4.3.3	<i>Hidrología</i>	10
4.3.4	<i>Geología</i>	11
4.3.5	<i>Hidrogeología</i>	12
4.3.6	<i>Aspectos meteorológicos</i>	16
4.3.7	<i>Características geotécnicas</i>	16
4.4	BALANCE HÍDRICO	19
4.4.1	<i>Condiciones de contorno</i>	19
4.4.2	<i>CARACTERÍSTICAS DEL VERTEDERO</i>	20
4.4.3	<i>COMPONENTES DEL BALANCE</i>	21
4.4.4	<i>OTROS</i>	27
4.4.5	<i>MODELO CONCEPTUAL DEL VERTEDERO EN RELACIÓN AL BALANCE HÍDRICO</i>	28
4.5	IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE CONTAMINANTES Y RUTAS DE DESPLAZAMIENTO 29	
4.5.1	<i>SELECCIÓN DE PARÁMETROS CRÍTICOS</i>	29
4.5.2	<i>MODELO CONCEPTUAL DEL RIESGO</i>	32
4.6	DISEÑO Y ESTRATEGIA DE MUESTREO	36
4.6.1	<i>INTRODUCCIÓN</i>	36
4.6.2	<i>CAMPAÑAS DE MUESTREO</i>	36
4.6.3	<i>MEDIOS A MUESTREAR</i>	37
4.6.4	<i>PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO</i>	40
4.7	VALORACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS	43
4.7.1	<i>INTRODUCCIÓN</i>	43
4.7.2	<i>CRITERIOS PARA LA VALORACIÓN DE IMPACTOS</i>	46
4.7.3	<i>EVALUACIÓN DE RESULTADOS</i>	58
4.8	PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTORAS	61
4.8.1	<i>Medidas de control y seguimiento</i>	62
4.8.2	<i>Medidas de reducción y eliminación del riesgo</i>	62
5	BIBLIOGRAFÍA	69
6	ANEXOS	71

1 OBJETO DEL DOCUMENTO

Los vertederos, controlados o no, pueden plantear un serio problema, debido a la llegada al medioambiente de importantes volúmenes de lixiviados, de características químicas muy dispares y que, en muchos casos, pueden ser dañinos para la salud humana, para las aguas superficiales y subterráneas y para los ecosistemas.

Aguas abajo de estos emplazamientos de acumulación de una gran variedad de residuos tanto urbanos como industriales, en ocasiones es habitual encontrar irisaciones o colores extraños en las aguas, con fuertes olores de origen químico o con conductividades eléctricas que poco tienen que ver con aguas de origen natural. Estos suelen ser signos ligados a fugas de lixiviados que, por diferentes motivos, alcanzan lugares más allá de los límites de algunos vertederos.

Ni qué decir tiene que las características del propio vertedero, así como aspectos en su gestión, pueden influir en las posibles fugas. Sin embargo, no son éstos los únicos aspectos a considerar, ya que las características litológicas e hidrogeológicas, junto con las meteorológicas, entre otras, juegan un papel importante a tener en cuenta.

La normativa actual sobre vertederos exige a las instalaciones de vertido una serie de requisitos técnicos en cuanto a barreras de protección e impermeabilización y recogida de lixiviados, con el fin de evitar daños al medio ambiente. No obstante prevé en algunos casos la posibilidad de no disponer de dicha impermeabilización, previa realización de un informe de evaluación de riesgos de cara a demostrar la inexistencia de afección del vertedero al medio circundante (suelo, ecosistema, aguas subterráneas y superficiales).

Ante esta situación, resulta necesario definir una metodología para el control/seguimiento de los lixiviados y los gases en vertederos no impermeabilizados, anteriores a la entrada en vigor de las normativas reguladoras. Con dicho fin se presenta esta guía metodológica, así como el esqueleto del informe tipo, que deberá ser completado y aplicado por los gestores y que, deberá servir para evaluar los riesgos potenciales de cada instalación.

2 CONTEXTO NORMATIVO

La Unión Europea aprobó la Directiva 96/61/CE relativa a la prevención y control de la contaminación (IPPC). Con ello se introduce la obligatoriedad de una autorización ambiental en la que por medio de la integración y coordinación administrativa se incluye el control de las emisiones al aire, los vertidos y los residuos para el funcionamiento de las instalaciones incluidas en su ámbito de aplicación. Las instalaciones para la eliminación de residuos no peligrosos con una capacidad superior a 50 tm/día, están incluidas en el ámbito de aplicación de la mencionada autorización.

Por otra parte, existe normativa específica de aplicación a los vertederos, concretamente el Real Decreto 1481/2001 por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero y a nivel de la Comunidad Autónoma del País Vasco el Decreto 49/2009 por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero y la ejecución de rellenos.

En la CAPV existen actualmente un total de 26 vertederos afectados por la “Ley IPPC”, 15 de ellos en activo. Asimismo, hay 17 instalaciones IPPC adicionales con vertedero (acerías, fundiciones, papeleras). En todos los casos las instalaciones disponen de la autorización ambiental integrada tramitada por el Servicio IPPC de la Dirección de Administración Ambiental. Dicha autorización es la que regula las condiciones para las obras de impermeabilización o de apertura de nuevas celdas, la propia explotación del vertedero, las obras de sellado y las condiciones post-clausura.

Por otra parte, existen una serie de vertederos que comenzaron a funcionar antes de la entrada en vigor de la legislación antes mencionada, por lo que al no exigírseles vía legislación no disponían de sistema de impermeabilización específico, aunque posteriormente se hayan adecuado a la normativa.

Así, tanto el Real Decreto 1481/2001, como el Decreto 49/2009, exigen a las instalaciones de vertido una serie de requisitos técnicos en cuanto a barreras de protección e impermeabilización y recogida de lixiviados, con el fin de evitar daños al medio ambiente. Si bien, en el Anexo I de ambas normativas se indica lo siguiente:

“Si el órgano competente en materia de medio ambiente de la Comunidad Autónoma decide, sobre la base de una evaluación de los riesgos para el medio ambiente que tenga en cuenta, en particular, la sección 3ª del capítulo II del Título III del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (aprobado por Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, y modificado por Real Decreto 1315/1992 de 30 de octubre, y de acuerdo con la sección 2ª «Control de aguas y gestión de lixiviados»), que la recogida y tratamiento de lixiviados no son necesarios, o si se establece que el vertedero plantea un nivel de riesgo aceptable para el suelo, las aguas subterráneas y las aguas superficiales, los requisitos de los apartados 3.2, 3.3 y 3.4 anteriores podrán ser modificados o reducidos en consecuencia. En el caso de los vertederos para residuos inertes, estos requisitos podrán ser establecidos mediante una norma

estatal y, en su caso, mediante las normas adicionales de protección que las Comunidades Autónomas dicten al efecto.

La evaluación del riesgo que servirá de base para la toma de la decisión se llevará a cabo mediante un estudio que comprenderá como mínimo las siguientes fases:

- a) Identificación y cuantificación de las emisiones probables de contaminantes y evaluación de las significativas.*
- b) Identificación y cuantificación de las poblaciones y ecosistemas que pueden quedar expuestos a los contaminantes y de las rutas de exposición.*
- c) Cuantificación de los contaminantes en cada ruta y de las dosis probables recibidas.*
- d) Valoración de la toxicidad de los contaminantes para las poblaciones y ecosistemas expuestos.*
- e) Evaluación, utilizando una metodología reglada o normalizada, del nivel de riesgo existente, sobre la base de los datos obtenidos o disponibles.”*

Asimismo, la Directiva 2010/75/EU de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación), define la necesidad de realizar una evaluación de riesgos en las instalaciones afectadas, con el fin de determinar la periodicidad de las visitas de inspección.

Con todo ello, esta guía pretende regular los contenidos que debe tener dicho informe con objeto de que integre todos los aspectos que se consideran relevantes por parte del órgano ambiental.

3 ALCANCE DE LA EVALUACIÓN DE RIESGOS

De acuerdo a la casuística actual en la Comunidad Autónoma del País Vasco, la situación de partida a la hora de realizar el Estudio de Evaluación de Riesgos, puede ser la siguiente:

1. Vertedero de nueva implantación y que carece de información alguna.
2. Vertedero legal ya existente, que solicita autorización para depositar un nuevo tipo de residuo.
3. Vertedero no legalizado, que solicita legalizar su situación.

Esta casuística va a condicionar la existencia de gran parte de la información que se requiere en el presente documento, tal es el caso de la existencia de datos históricos. En algunos casos por lo tanto, podrá ser necesario recopilar datos de vertederos similares para completar la información requerida para realizar el estudio.

Por otra parte, en relación a los criterios para determinar el alcance de la evaluación de riesgos, cabe señalar que los vertederos de residuos inertes, según el Decreto 49/2009, no tienen requisitos de impermeabilización artificial (Anexo I, art. 3.3) ni de control de aguas y gestión de lixiviados (Anexo I, art. 2), siempre que cuenten en la base y en los lados con una barrera geológica que cumpla con las siguientes condiciones de permeabilidad y espesor:

$$K \leq 1,0 \times 10^{-7} \text{ m/s; espesor} \geq 1 \text{ m.}$$

En estos casos, sólo será necesaria la realización simplificada de las Etapas 1-2-3-4 del estudio de riesgos, previa justificación mediante presentación de análisis completo de lixiviados.



4 REDACCIÓN DEL DOCUMENTO DE EVALUACIÓN DE RIESGOS

En el siguiente esquema se resume el proceso a seguir para la elaboración de la evaluación de riesgos del vertedero.



Figura 1. Etapas del análisis de riesgos

Se define y desarrolla a continuación el contenido de cada una de las etapas que constituyen el proceso de elaboración de la evaluación de riesgos. En el Anexo I se incluye asimismo el modelo de ficha técnica que servirá de base para la recopilación de los datos y la elaboración del análisis de riesgos correspondiente. Las fichas permiten una recopilación sistemática de los datos necesarios y facilitan la elaboración estructurada de las distintas etapas del análisis.

4.1 Descripción de la instalación y caracterización de los residuos depositados en el vertedero

Este apartado supone un primer nivel de conocimiento básico sobre el vertedero, incluyendo aspectos como la localización, el tipo de explotación, las infraestructuras asociadas y datos gráficos. Así, para cumplimentar este apartado se requerirá realizar una visita de campo para conocer en detalle las características del vertedero y la gestión de la misma.

Se incluirá la siguiente información, basada en la documentación exigida por el Decreto 49/2009 para la solicitud de autorización para la implantación de una instalación de vertido, a la vez que se considera imprescindible para valorar el riesgo de este tipo de actividades:

- Código del vertedero.
- Localización del vertedero.
- Identidad (razón social, CIF, domicilio) de la entidad titular del vertedero y de la entidad explotadora si fueran distintas.
- Año de Inicio de Explotación.
- Descripción de los tipos de residuos depositados en el vertedero, incluyendo su codificación con arreglo al Listado Europeo de Residuos.
- Descripción de las características constructivas del vertedero, incluyendo las infraestructuras y sus cálculos justificativos:
 - Condiciones de impermeabilización.
 - Diseño de la red de drenaje.
 - Diseño del sistema de recogida y tratamiento de lixiviados.
 - Instrumentación de control.
- Descripción de las instalaciones de servicios:
 - Suministro de agua.
 - Accesos y viales.
 - Cerramientos
 - Caseta de control.
 - Instalación de limpieza de ruedas, etc.
- Descripción del proceso de vertido de los residuos, con indicación de las operaciones que comprende y la maquinaria.

- Cantidad total de residuos depositados en el vertedero y capacidad del vaso de vertido, incluida la cantidad anual de residuos a verter y la vida útil de la instalación.
- El Plan de explotación, vigilancia y control del vertedero, incluidos los Planes de Emergencia.
- El Plan de sellado, clausura y mantenimiento posterior a la clausura del vertedero
- Cobertura del seguro de responsabilidad civil y fianza.
- Plano de ubicación y plano topográfico de alturas y superficies. Dentro de la planimetría se deberán incluir, como mínimo, los siguientes planos a escala adecuada:
 - Plano geográfico de situación.
 - Plano de emplazamiento.
 - Plano taquimétrico de planta general con curvas de nivel del estado inicial, actual y situación final futura con detalle de las instalaciones (accesos, Instalaciones, cerramientos, escorrentía del área de relleno, vertidos).
 - Plano de las secciones longitudinales y transversales del terreno con cotas antes de iniciarse el vertido, actuales y una vez finalizado el mismo:
 - Cubicación de volúmenes.
 - Fases de llenado.
 - Cualquier otro plano que se estime necesario.

4.2 Análisis de datos históricos

Se realizará un análisis de los datos históricos relativos a las actividades potencialmente contaminantes que se hayan desarrollado en el pasado tanto en el propio emplazamiento como en zonas colindantes, y a incidencias que hayan podido contribuir a la alteración del entorno de forma adicional a la actividad actualmente en funcionamiento. Se podrá obtener la información necesaria durante las inspecciones del emplazamiento, así como mediante la realización de entrevistas a propietarios, explotadores y/o vecinos.

A la hora de cumplimentar esta etapa del Análisis de Riesgos se considerarán los siguientes escenarios:

- Uso actual del emplazamiento como vertedero: recogida de información sobre emisiones contaminantes debidas en particular a accidentes o incidentes (incendios, corrimientos, emanaciones de gases, explosiones, etc.), goteos o derrames desde operaciones rutinarias o cambios en prácticas operacionales. Indicar en tal caso la naturaleza de las emisiones producidas y la gestión de la incidencia.
- Usos y actividades previas al actual en el propio emplazamiento: se identificarán aquellos usos y actividades desarrollados sobre el emplazamiento a lo largo de la historia, de igual o distinta tipología al actual, que hayan podido ocasionar emisiones persistentes de

contaminantes. Se deberán obtener datos sobre los procesos desarrollados y las sustancias y materiales manipulados (materias primas, productos intermedios, productos finales, residuos, sustancias auxiliares, etc.). Será también objeto de esta fase la obtención de datos sobre los accidentes e incidentes que, históricamente se hayan podido producir en el emplazamiento durante el desarrollo de actividades distintas a la actual. Indicar en tal caso la naturaleza de las emisiones producidas y la gestión de la incidencia.

- Actividades potencialmente contaminantes en emplazamientos colindantes: se identificarán aquellas actividades situadas en las inmediaciones del emplazamiento que por su naturaleza puedan contribuir a la alteración adicional del entorno del vertedero. Se deberán obtener datos sobre los procesos desarrollados y las sustancias y materiales manipulados (materias primas, productos intermedios, productos finales, residuos, sustancias auxiliares, etc.).

La recopilación de la información se puede realizar además mediante la revisión de distintas fuentes, como:

- ✓ El Inventario de Suelos con Actividades Potencialmente Contaminantes de Suelo.
- ✓ Archivos de distintas administraciones y organismos (Registro de Industria, registros municipales, etc.).
- ✓ Cartografía de diferentes épocas y fotografías históricas.

4.3 Realización del inventario ambiental de la zona

Debe considerar todos aquellos caracteres que puedan servir para valorar de forma cualitativa la probabilidad de la existencia de algún riesgo derivado de la instalación que pudiera afectar a los ecosistemas, así como a la salud humana. La recopilación de dicha información requerirá de visitas de campo al emplazamiento y su entorno.

El alcance o delimitación geográfica del inventario ambiental, dependerá del ámbito físico al que puedan extenderse los efectos de la instalación, que básicamente serán:

- La propia parcela del vertedero y su entorno, que será variable en función de las características del vertedero y el medio receptor.
- Las zonas habitadas y los espacios de interés natural existentes en el entorno
- La presencia de cursos o láminas de agua que puedan verse afectados o contribuir a dispersar los efectos.

Deben considerarse al menos los aspectos siguientes, que irán recogidos en la ficha correspondiente:

4.3.1 Situación geográfica.

Deben indicarse las coordenadas UTM (DATUM ETRS89) que marquen la posición geográfica del centro del vertedero, la altitud máxima y mínima del emplazamiento, así como un mapa de localización a escala 1:10.000 o inferior, con los límites del vertedero claramente señalizados. El mapa debe recoger también la distancia a núcleos de población y a zonas de esparcimiento o recreativas. Las zonas agrícolas y los espacios naturales de especial protección (ZEPAs, LICs, reservas o parques naturales...) deben estar debidamente señalizados., así como las redes de abastecimiento y saneamiento. Todo tipo de mapas (topográficos, espacios protegidos...) accesibles en <ftp://ftp.geo.euskadi.net/cartografia>.

4.3.2 Fauna y vegetación

Además de recoger el tipo de cubierta vegetal existente sobre el propio vertedero, si la hubiera, se trata de describir las comunidades vegetales y animales del entorno del vertedero que podrían verse afectadas.

- **Vegetación:** información que se puede obtener, de forma resumida, a partir de los mapas de vegetación a escala 1:10.000.
- **Fauna:** los mapas de especies y de hábitats a escala 1:10.000 pueden ser una buena fuente de información.

En ambos casos se puede obtener información de <ftp://ftp.geo.euskadi.net/cartografia/Biota/>. No se trata de plasmar en detalle los mapas de vegetación y fauna, sino de recoger en la ficha un breve resumen de dicha información, con el fin de tener una idea de la situación.

4.3.3 Hidrología

Se señalarán la cuenca y subcuenca hidrográficas a las que pertenece la zona donde se localiza el vertedero, es decir la cuenca del río principal y la subcuenca del afluente secundario. Asimismo, se plasmará en un mapa la red de drenaje o, lo que es lo mismo, el conjunto de ríos, lagos y arroyos existentes en la cuenca hidrográfica en la que se localiza el vertedero. Se deben considerar todos los cursos fluviales que, aunque en estiaje están secos, se encuentren próximos al vertedero, en especial aquellos que se encuentren aguas abajo del mismo. Se pondrá especial atención en las Zonas Protegidas, conforme a la legislación en materia de aguas, y captaciones para abastecimiento de poblaciones o perímetros de protección establecidos por el Organismo de Cuenca correspondiente. Se plasmarán en un mapa a escala 1:10.000 o inferior. La información correspondiente a la hidrología se puede consultar en

ftp://ftp.geo.euskadi.net/cartografia/Aguas_Interiores/.

Además, se tendrán en cuenta otros aspectos como son:

- **Existencia de captaciones de aguas cercanas:** si en las zonas aledañas al vertedero existen pozos de abastecimiento o captaciones. Estas vendrán clasificadas en “sí”, “no” o “desconocido”. Asimismo, deberán quedar registradas en plano.
- **Distancia al cauce más cercano:** clasificadas en “adyacente”, “<100m”, “100-200m”, y “>200m”.
- **Existencia de cauces que atraviesen el propio vertedero:** clasificadas en “sí”, “no” o “desconocido”.
- **Existencia de cauces bajo vertedero:** clasificadas en “sí”, “no” o “desconocido”. En el caso de que la respuesta sea positiva, se indicará si el cauce ha sido o no canalizado.

4.3.4 Geología

Se definen aquí las características geológicas principales del vertedero y de su entorno, que pueden condicionar posibles entradas de agua al vertedero, así como algunas vías de migración de los contaminantes. Esta información se puede consultar en <ftp://ftp.geo.euskadi.net/cartografia/Geocientifica/>. En este apartado deben considerarse al menos estos aspectos:

- **Unidades litológicas:** descripción de los materiales geológicos de la zona y de sus características estructurales (potencia y buzamiento de los estratos, fracturación, etc.).
- **Permeabilidad:** Se definirá la permeabilidad (k) aproximada de la roca sobre la que se asienta el vertedero, clasificándola como “muy permeable”, “poco permeable” o “impermeable”.

k (cm/s)	Calificación estimativa
$>10^{-3}$	muy permeable
$10^{-3} > k > 10^{-7}$	poco permeable
$<10^{-7}$	impermeable

Tabla 1. Valores de permeabilidad (según autores).

Para obtener datos de k se puede consultar la tabla de Boroumand et al. (2005) (Tabla 2), donde se indican valores típicos de permeabilidad en función del tipo de material del suelo.

Suelo	Coefficiente de Permeabilidad K (cm/sg)
Grava	10^{-1}
Arena, arena fina	$10^{-1} > k > 10^{-3}$
Arena, arena sucia, arena limosa	$10^{-3} > k > 10^{-5}$
Limo, arcilla limosa	$10^{-5} > k > 10^{-7}$
Arcilla	$< 10^{-7}$

Tabla 2. Valores típicos de permeabilidad para diferentes tipos de materiales (adaptado de Boroumand et al, 2004).

- **Suelos:** se describen su espesor y características (arcillosos, arenosos, limosos, etc.) más significativas.
- **Tipo de suelo:** el tipo de suelo se indicará según el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS (Anexo II).
- **Morfología:** se trata de datos relativos a las formas del relieve terrestre de la zona en la que está enclavado el vertedero (llanura, ladera, vaguada, etc.).
- **Rellenos.** En caso de que entre el vertedero y el substrato rocoso existan materiales de relleno se citarán expresamente y se describirán en la medida de lo posible. Siempre que sea posible se dará una estimación de la permeabilidad aproximada.

4.3.5 Hidrogeología

Se trata de identificar la presencia de agua subterránea, susceptible de alcanzar el seno del vertedero y, en consecuencia, de generar lixiviados y/o desplazarlos aguas abajo. Para que esto ocurra no es imprescindible que exista un acuífero, ya que puede haber agua que fluya a través de los materiales (roca o relleno), pero que no tenga entidad suficiente como para constituir un acuífero. Se describirán los siguientes aspectos:

- **Tipo de acuífero:** tipo de materiales en que se encuentra el agua subterránea. Información visible en

ftp://ftp.geo.euskadi.net/cartografia/Aguas_Interiores/HIDROGEOLOGIA/

- **Profundidad estimada:** en caso de que sea posible se facilitará la profundidad del nivel freático en metros.
- **Dirección de flujo:** se indicará en qué dirección se mueve el agua del acuífero. Si se tiene información suficiente, se adjuntará un mapa de isopiezas a escala adecuada.

- **Vulnerabilidad de las aguas subterráneas:** la mayor parte de éstas se origina a partir de la precipitación. La parte que no se evapotranspira o genera escorrentía superficial, se infiltra en el terreno. Dependiendo del tipo de roca y en presencia de un volumen de agua adecuado, esas aguas subterráneas pueden generar acuíferos, pero no siempre es así. La presencia de agua subterránea no siempre lleva implícita la existencia de un acuífero y, del mismo modo, la inexistencia de un acuífero no siempre significa que no haya agua subterránea que pueda ser vulnerable a una posible contaminación. Para estimar la vulnerabilidad de las aguas subterráneas, uno de los métodos más prácticos y sencillos de aplicar es el método GOD (Foster et al., 1987).

El método considera tres parámetros:

- 1) G (grado de confinamiento hidráulico): existencia o no de agua subterránea y si ésta se encuentra confinada o no;
- 2) O (ocurrencia del substrato suprayacente): litología o tipo de material rocoso;
- 3) D (distancia): profundidad del agua subterránea.

A cada parámetro le corresponde un valor, dependiendo de sus características, siendo el valor de vulnerabilidad (V) el resultado de la multiplicación de estos parámetros, atendiendo a la siguiente expresión:

$$V = G \times O \times D$$

Los valores obtenidos para V se clasifican en intervalos que definen el grado de vulnerabilidad (Tabla 3).

Rango obtenido (V)	Clasificación de la Vulnerabilidad
0,0-0,1	Muy baja
0,1-0,3	Baja
0,3-0,5	Moderada
0,5-0,7	Alta
0,7-1,0	Extrema

Tabla 3. Valoración del índice GOD para la vulnerabilidad de las aguas subterráneas.

La estimación del índice de vulnerabilidad GOD comprende tres etapas:

1. Identificar el grado de confinamiento hidráulico del acuífero (**G**) y asignarle un índice que oscila entre 0,0 y 1,0. En el caso de rellenos (muy habitual), el índice será 1,0. En cualquier caso, el parámetro G considera seis situaciones:

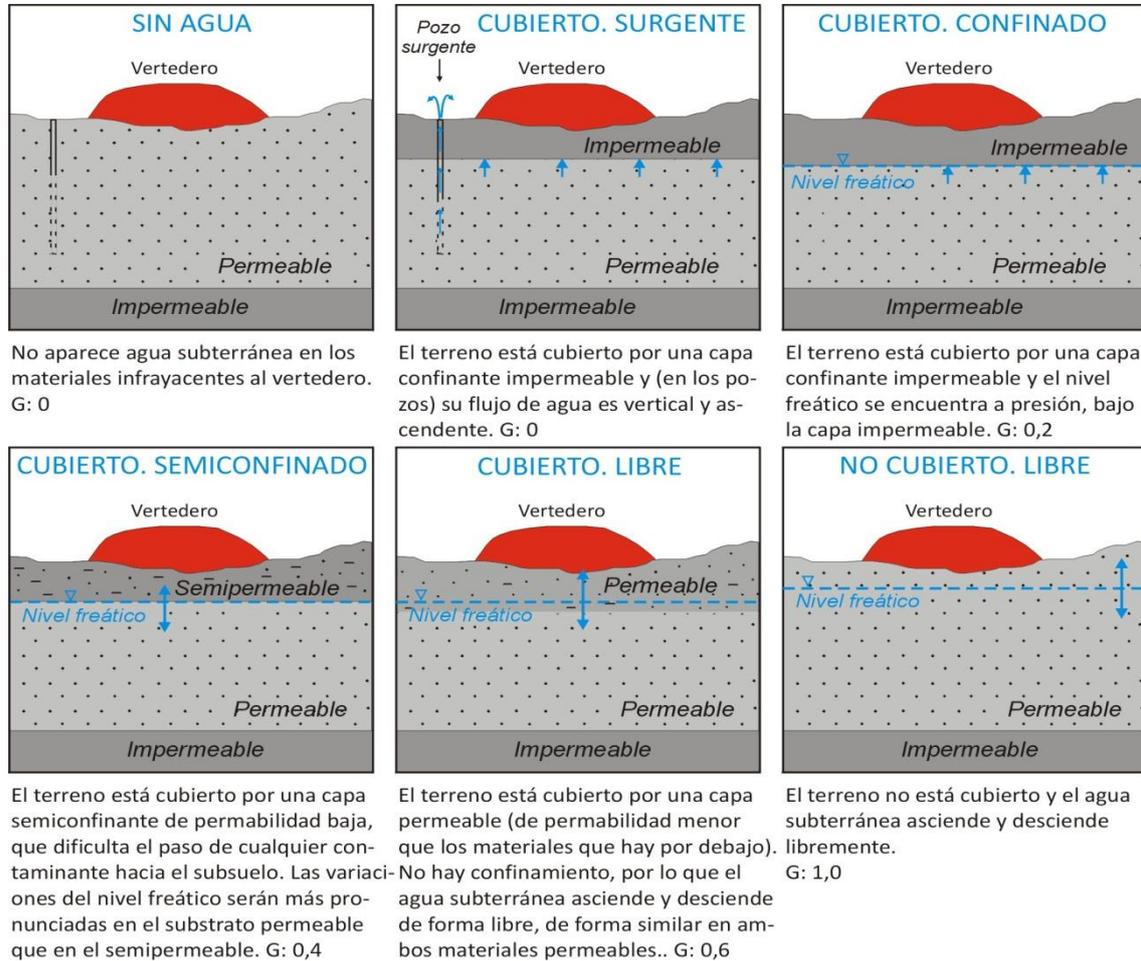


Figura 2. Casos de confinamiento hidráulico de acuíferos para el cálculo del factor G (Fuente: elaboración propia).

2. Especificar las características del substrato (**O**) y su grado de consolidación, asignando un índice que varía entre 0,4 y 1,0.
3. Estimar la profundidad del nivel freático (o la profundidad al techo del primer acuífero confinado) (**D**), con la asignación de un índice de 0,6 a 1,0. Esta información puede obtenerse de piezómetros, si existen.

La Figura 3 representa un esquema del método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad del agua subterránea, donde se han plasmado los factores a tener en cuenta y la puntuación correspondiente a cada índice.

A partir de la información recogida se esbozará un esquema hidrogeológico conceptual que permita hacerse una idea inicial del funcionamiento hidrogeológico del entorno del vertedero.

Se trata de una figura esquemática que describa las características hidrogeológicas más significativas del entorno del vertedero como son los materiales rocosos, la existencia de un nivel freático y su profundidad, la dirección del flujo del agua subterránea, posibles fugas de lixiviados desde el vertedero, presencia de algún manantial y/o arroyo, etc. Asimismo, se recogerá la existencia y ubicación de pozos de extracción de agua en el emplazamiento y en las proximidades.

4.3.6 Aspectos meteorológicos

Puesto que la meteorología es el principal condicionante de la existencia y características de los flujos de agua superficial y subterránea en las inmediaciones del vertedero, y posiblemente en su seno, es necesario disponer al menos de una idea inicial de los aspectos meteorológicos más significativos como son:

- **Precipitación anual:** definida por la media aritmética de los valores de precipitación anuales de una serie de años (fijados en 30 años por la O.M.M.) en el punto de toma de datos más representativo de la meteorología del emplazamiento (Apartado 4.4.3). En el caso de que no se disponga de una serie larga de datos y de que el vertedero no disponga de estación meteorológica alguna, se tomará la media de los últimos diez años de la estación más representativa.
- **Lluvia útil:** es la diferencia entre la precipitación total y la evaporación total.

Estas informaciones, así como otra serie de datos hidrológicos de la cuenca y litologías, pueden ser consultadas en el Mapa Hidrogeológico del País Vasco (E 1:100.000), del EVE, así como en el Sistema de información y gestión de mapas temáticos del Gobierno Vasco a ESCALA 1:25.000 en <ftp://ftp.geo.euskadi.net/cartografia/>.

4.3.7 Características geotécnicas

Uno de los riesgos potenciales en áreas circundantes a vertederos es la posibilidad de que se produzcan deslizamientos. Por este motivo, debe recogerse la información relativa a la estabilidad, tanto de las laderas sobre las que se ubica el vertedero como de los materiales vertidos. La información sobre aspectos geotécnicos generales se puede consultar en los mapas Geotécnicos del Gobierno Vasco a ESCALA 1:25.000 en <ftp://ftp.geo.euskadi.net/cartografia/Geocientifica/Geologia/>.

Para poder identificar los posibles impactos sobre el medio como consecuencia de estos procesos, se determinarán los siguientes aspectos:

- **Pendiente de las laderas:** Las pendientes de las laderas pueden ser indicativas de la estabilidad de la zona, y de riesgos adicionales de deslizamientos sobre el propio

vertedero. Esta información se encuentra recogida en el mapa de pendientes derivado del MDT de 1 m de la CAPV (año 2012) y se puede descargar desde http://www.geo.euskadi.eus/s69-geodir/es/contenidos/ds_geograficos/md_ideeu_pendientes_25m_2012/es_def/index.shtml

- **Procesos de inestabilidad en las laderas del vertedero:** Se recogerán aquellos procesos que pudieran estar activos en el momento de la inspección de campo. Se considerarán los deslizamientos, del tipo que sean, adyacente al vertedero. Si existen se describirán en este apartado, si no existen se responderá “no”.
- **Estabilidad de la masa de vertido:** Se establecerá considerando aspectos tales como la pendiente y la altura del vertido en el talud, la pendiente de la/s ladera/s sobre la/s que se encuentre el vertedero, la abundancia en el vertido de materiales de grano fino y con bajo grado de cohesión, la existencia de escolleras de protección, etc. Se trata de una percepción subjetiva que se determinará en el propio vertedero durante la visita de campo y se definirá como “elevada”, “media” o “baja”. Si existen elementos que pueden ser arrastrados (torres eléctricas, infraestructuras asociadas al vertedero, etc.) se cumplimentará la ficha con un “sí” y se describirán. En caso contrario se indicará “no”.
- **Discontinuidad y factores estructurales:** Se identificará la presencia de fallas o de una estratificación muy marcada en la/s ladera/s. Esta información se puede consultar en los mapas a escala 1:25.000 del EVE, así como en <ftp://ftp.geo.euskadi.net/cartografia/Geocientifica/Geologia/>
- **Inundabilidad:** La cercanía del vertedero a un curso de agua superficial podría ser un problema añadido, debido a posibles desbordamientos. Su localización en el fondo de un valle o en terrenos pertenecientes a la llanura de inundación son aspectos que hay que tener muy en cuenta. Estos detalles pueden observarse en una primera aproximación durante la visita de campo. Se revisarán los mapas de Evaluación y Gestión de la Inundabilidad (Directiva 2007/60/CE y RD 903/2010) y, en caso necesario, esta información se recogerá también en forma de mapa. La inundabilidad se definirá en los términos en los que aparece en los mapas de inundabilidad, es decir, en períodos de retorno de 10, 100 o 500 años. Se puede acceder a la

información sobre inundabilidad a partir de los mapas de inundabilidad en [ftp://ftp.geo.euskadi.net/cartografia/Aguas Interiores/INUNDABILIDAD/](ftp://ftp.geo.euskadi.net/cartografia/Aguas_Interiores/INUNDABILIDAD/)

- **Afecciones a estructuras existentes:** Es posible que el vertedero afecte a infraestructuras existentes (carreteras, ferrocarril, tendidas eléctricos), ya que podrían ocurrir deslizamientos en la masa de vertido, sobre carreteras, ferrocarriles y otras vías de comunicación, llegando afectar incluso a torres eléctricas. No hay que descartar la posibilidad de que puedan producirse explosiones, debido a la acumulación de gas en la masa de vertido, que pueda afectar a infraestructuras existentes. La posible afección a estructuras se determinará de una manera visual en la visita de campo y se reflejará como “sí” o “no”. En el caso afirmativo se explicará a qué estructuras afecta y la causa de la posible afección.
- **Erosionabilidad:** Se evalúa teniendo en cuenta las precipitaciones, la cobertura vegetal, el viento, el tamaño de grano o características de los residuos depositados, las pendientes de los taludes, etc., y se describe como “alta” (> 50 t/ha y año), “media” (25 – 50 t/ha y año) o “baja”. (< 25 t/ha y año). El modelo USLE considera las pérdidas de suelo en toneladas por hectárea, cuyos mapas se pueden consultar en <ftp://ftp.geo.euskadi.net/cartografia/Geocientifica/Erosion/>
- **Tipo de cubrición:** En el caso de que el vertedero esté cubierto se indicará el tipo de cubrición, que se verificará en la visita de campo.
- **Disponibilidad de materiales de cubrición:** Durante la visita de campo se determinará si, en zonas no muy alejadas del vertedero, existen o no materiales que, en caso necesario, podrían utilizarse para cubrición. En este sentido, se considerará la existencia de obras de envergadura (carreteras en construcción, ferrocarriles, etc.).

4.4 Balance hídrico

No es otra cosa que el equilibrio entre todos los recursos hídricos que entran a un sistema y los que salen del mismo. El balance hídrico consiste en aplicar el principio de la conservación de masas a un cierto área (sistema), definido por unas determinadas condiciones de contorno. De esta forma, la diferencia entre el total de entradas y el total de salidas debe ser igual al cambio de agua en el almacenamiento (ΔV) de ésta en el seno del vertedero, de forma que:

$$\Delta V = \text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS}$$

Es importante resaltar el hecho de que el balance hídrico es dinámico tanto en el espacio como en el tiempo. Quiere esto decir que en determinados momentos y condiciones hidrológicas los componentes del balance pueden variar. A la hora de elaborar el balance hídrico se deben considerar al menos los aspectos siguientes, que irán recogidos en la ficha correspondiente:

4.4.1 Condiciones de contorno

Límite temporal

El balance hídrico se puede calcular para cualquier intervalo de tiempo (año natural o hidrológico, estación o mes). Lo más acertado es realizarlo para un año hidrológico, ya que es el caso más simple, puesto que se puede desprestigiar la variación del volumen de agua almacenada en el sistema (ΔV), que es difícil de medir y calcular. A escala anual, los incrementos de agua almacenada (positivos y negativos) tienden a equilibrarse y su valor neto al final puede considerarse igual a cero. Se acostumbra a utilizar el año hidrológico completo, comenzando el 1 de octubre y finalizando el 30 de septiembre.

Límite espacial

El balance se puede calcular para sistemas de cualquier tamaño, pero la complejidad del cálculo depende en gran medida de la extensión del área de estudio. Cuanto más pequeña sea la superficie del sistema considerado, más complicado es su balance, puesto que es más difícil estimar componentes secundarios como puede ser el intercambio de aguas subterráneas con cuencas adyacentes.

Cabe resaltar la importancia del límite espacial que se establezca para el cálculo del balance hídrico. Un error habitual en el cálculo del balance en vertederos es optar por considerar únicamente el área que abarca el perímetro del vertedero sin tener en cuenta lo que pasa alrededor o sin saber, por ejemplo, si el canal perimetral se encuentra en mal estado. Ante esta situación, si por ejemplo el canal perimetral pierde agua (susceptible de alcanzar el seno del vertedero), habrá que considerar un área mayor, ya que el agua que alcanza el canal perimetral debe provenir de un área mayor. En consecuencia, la elección inadecuada del área que se va a considerar para el cálculo del balance, dará como resultado datos erróneos y un balance hídrico equivocado.

4.4.2 CARACTERÍSTICAS DEL VERTEDERO

Sistemas de medida y de recogida de aguas

En el caso concreto de los vertederos, puede existir información de interés relativa a la circulación de aguas en el vertedero o en las inmediaciones del mismo, así como a la existencia de un nivel freático (variable o no) en el propio vertedero o fuera de éste. Esta información puede resultar de utilidad como apoyo al balance hídrico o para poder verificar los resultados obtenidos en el mismo. Datos piezométricos, estado del canal perimetral, existencia de un dren de fondo etc. son aspectos que se deben tener en cuenta. La profundidad del nivel freático ha quedado recogida en el apartado relativo a la hidrología del inventario ambiental de la zona y en la ficha correspondiente.

En los últimos tiempos ha aumentado el número de vertederos que controlan la salida de lixiviados en continuo mediante caudalímetros. Este dato es de gran interés, ya que permite realizar comparativas con los datos obtenidos del balance y, a veces incluso, permite apreciar posibles fugas hacia el exterior o entradas de agua hacia el interior del mismo.

Impermeabilización

Que el sistema (en su caso el vertedero) esté impermeabilizado o no, por dónde, con qué materiales etc. influye en las entradas y salidas de agua y, por tanto, en el balance hídrico. Por lo tanto, conviene conocer con el mayor detalle posible todos los aspectos de la impermeabilización, si es que existe. Se tendrá en cuenta la superficie, el fondo del vaso de vertido y los taludes.

Tipo de residuos y humedad

La humedad que pueden aportar o retener los residuos es difícil de calcular. Por este motivo, y como se ha comentado en el apartado relativo al límite temporal, el contenido de humedad debe ser igual al inicio y al final del período elegido, con lo que se puede desprestigiar la variación del volumen de agua almacenada en el sistema (ΔV). En el caso de vertederos inactivos, es previsible que los residuos no aporten humedad alguna.

Si el período temporal elegido exige conocer la retención de humedad de los residuos y no existe dato alguno al respecto, se puede consultar en la bibliografía y hacer una estimación. Lars Bengtsson et al. (1994) estiman que se puede llegar a retener entre 150 y 250 mm por cada metro lineal de residuo (Figura 4). La diferencia entre la Capacidad de Campo (CC: capacidad del residuo de retener humedad) y la humedad de los residuos es la capacidad de almacenamiento, es decir, la cantidad de humedad que podrá quedar retenida en los residuos. El tiempo necesario para alcanzar la CC depende de varios factores como la humedad inicial del residuo, su densidad, los procesos de degradación y otros. Se trata de aspectos que, en muchos casos, se desconocen. Así, la aproximación de Bengtsson resulta útil para estimar la retención de humedad en los residuos.

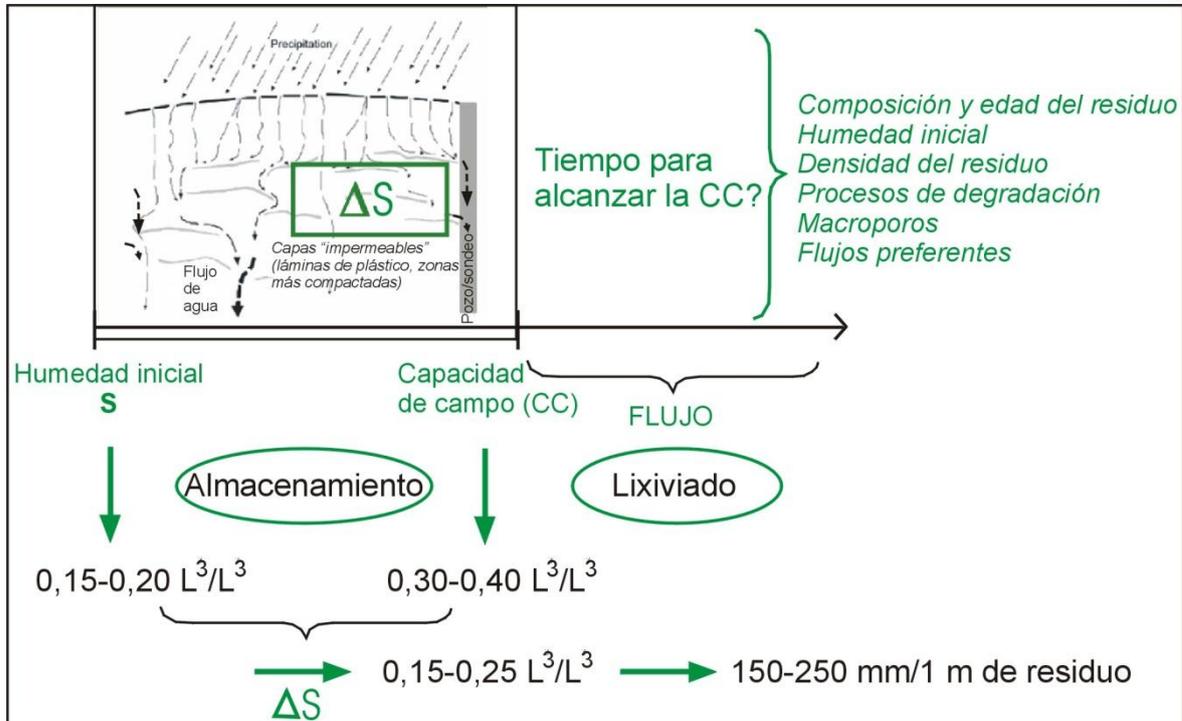


Figura 4. Retención de humedad en los residuos (Fuente: Modificado por I. Antigüedad (Versos 2014) de Bengtsson et al., 1994).

4.4.3 COMPONENTES DEL BALANCE

Aspectos meteorológicos

- **Precipitación (Pt).** Se trata de la principal entrada de agua al sistema. Algunos vertederos disponen de pluviómetros, aunque si no es el caso, se pueden usar los datos de precipitación de zonas próximas. En cualquier caso, sea cual sea la estación pluviométrica cuyos datos se utilicen, se deberá justificar debidamente la representatividad de la misma, teniendo en cuenta las condiciones físicas del entorno (cota, orientación y proximidad). La Agencia Vasca de Meteorología-Euskalmet (<http://www.euskalmet.euskadi.net>) dispone de una extensa red de estaciones meteorológicas que registran la precipitación. La Agencia Estatal de Meteorología-AEMET (www.aemet.es) es también una interesante fuente de información.
- **Evapotranspiración potencial (ETP).** Se denomina evapotranspiración al conjunto de pérdidas físicas (evaporación) y biológicas (transpiración de las plantas) del suelo en vapor

de agua. Se expresa en mm por unidad de tiempo. Depende de factores de orden meteorológico (radiación, humedad del aire, viento, temperatura del aire), relativos a las plantas (cubierta vegetal) y edáficos (tipo de suelo, estado de humedad del suelo). La ETP es la cantidad máxima, teórica, de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación y constantemente abastecido de agua.

La estimación de la ETP es el mayor problema existente a la hora de realizar un balance hídrico, sea a la escala que sea. A pesar de la reconocida complejidad de la estimación de la ETP, en la práctica se han venido utilizando los procedimientos más simples, fórmulas tipo Thornwaite, basadas en muy pocos parámetros y que subestiman la ETP. Por este motivo es conveniente utilizar otros métodos que considera, entre otros parámetros, la radiación solar, tal es el caso de Penman-Montheit (FAO56, 1998) o Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985), que calculan la evapotranspiración de referencia (ET_o).

El cálculo de la ETP mediante el método Penman-Montheit (FAO, 2006) es, quizás, el más acertado, pero es complejo debido a la cantidad de parámetros que se requieren (<ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>). Por este motivo, en concordancia con los objetivos de esta guía metodológica, es aceptable utilizar el método de Hargreaves, cuya expresión general es la siguiente:

$$ETP = 0,0135 (t_{med} + 17,78) * R_s$$

Dónde:

ETP: evapotranspiración potencial diaria (mm/día)

t_{med}: temperatura media (°C)

R_s: radiación solar incidente (mm/día)

La radiación solar incidente, R_s, se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre (la que llega a la parte exterior de la atmósfera, que sería la que llegaría al suelo si no existiera atmósfera); ésta última aparece según autores como R_o ó R_a, y se recoge en tablas en función de la latitud del lugar y del mes. En estas páginas nos referiremos a ella como R_o.

Cálculo de la Radiación Solar Incidente (R_s)

Samani (2000) propone la siguiente fórmula:

$$R_s = R_o * K_T * (t_{max} - t_{min})^{0,5}$$

Dónde:

R_s: Radiación solar incidente

R_o: Radiación solar extraterrestre (tabulada)

K_T: coeficiente

Tmax: temperatura diaria máxima

tmin: temperatura diaria mínima

Los valores de R_o están tabulados y las temperaturas máximas y mínimas son datos empíricos relativamente fáciles de obtener, por lo tanto la dificultad para aplicar esta expresión se encuentra en el coeficiente KT .

Para evaluar la Radiación Solar Extraterrestre (R_o) existen varias tablas, todas ellas dependientes de la latitud y del mes. La tabla de R_o de Allen et al (1998) se encuentra accesible en <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0j.htm#annex2.meteorologicaltables> (se adjunta como anexo al presente documento). Los datos de la tabla están en $MJ/m^2/día$, para pasar a $mm/día$ (de agua evaporada) es necesario multiplicar por 0,408 (para mayor exactitud, multiplicar por: $238,85/(597,3-0,57 T)$: donde T es la temperatura media del periodo elegido).

El coeficiente KT es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de datos de presión atmosférica, pero Hargreaves (citado en Samani, 2000) recomienda $KT = 0,162$ para regiones del interior y $KT = 0,19$ para regiones costeras.

- **Evapotranspiración real (ETR).** La evapotranspiración real es la cantidad de agua, que es efectivamente evaporada desde la superficie del suelo y transpirada por la cubierta vegetal. Depende de la disponibilidad de agua. La ETR se obtiene mediante la realización del balance de humedad en el suelo. En un balance hídrico, la ETP solo se lleva a cabo cuando el suelo dispone de bastante agua, de modo que en los periodos sin humedad en el suelo el valor de la pérdida de humedad puede ser menor que el calculado. Es lo que se conoce como evapotranspiración real, que para un mes en concreto sería la suma de la precipitación en ese periodo y la reserva de agua del suelo al inicio del mismo. Solo cuando el valor anterior supera a la evaporación potencial, puede satisfacerse ésta y, en este caso, coincide con la real. El exceso de agua permanece como reserva del suelo.
- **Lluvia útil (Pútil).** También denominada como excedentes, se trata del agua de lluvia que no ha sido evapotranspirada y que es susceptible de generar escorrentía superficial o infiltrarse, dependiendo del coeficiente de escorrentía (C_e) y de la permeabilidad de los materiales presentes en el área de estudio.

Aspectos hidrológicos/hidrogeológicos

- **Escorrentía (Es).** Es la componente de la lluvia útil que no se infiltra en el terreno o, en su caso, hacia el seno del vertedero. El coeficiente de escorrentía (C_e) y la permeabilidad de

los materiales presentes en el área de estudio condicionan en gran medida el volumen de agua infiltrada.

Al margen de los datos orientativos de la Tabla 2, la permeabilidad es un dato espinoso y su obtención no está exenta de cierta complejidad. Son los ensayos de permeabilidad los que aportan datos de permeabilidad fiables, pero no es habitual disponer de ellos. Por este motivo, y para agilizar los cálculos, resulta recomendable estimar la escorrentía utilizando el coeficiente de escorrentía correspondiente.

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía C_e , se pueden utilizar los coeficientes de Benítez et al. (1980), citado por Lemus & Navarro (2003) y todos recogidos por Martínez de Azagra (2006) (Tabla 4). Dichos autores consideran la pendiente junto con el tipo de terreno y su cobertura.

COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Tabla 4. Coeficientes de escorrentía, según Benítez et al. (1980), (Martínez de Azagra, 2006). Considera no sólo los materiales, sino también la pendiente del terreno.

El cálculo de la escorrentía se realiza multiplicando la lluvia útil (Pútil) con el coeficiente de escorrentía (C_e), que varía entre 0 y 1. De tal forma que para un volumen de lluvia útil anual de 25.000 m^3 y un coeficiente de escorrentía (C_e) igual a 0,45, se obtendría un volumen de escorrentía superficial (E_s) de 11.250 m^3 .

- **Infiltración (I).** Se trata de aquella fracción de lluvia útil que no genera escorrentía superficial y que por tanto se infiltra hacia el seno del vertedero.

A modo de resumen, de acuerdo con lo comentado anteriormente, los principales aspectos a considerar en el balance hídrico serían los que aparecen reflejados en el esquema de la Figura 5.

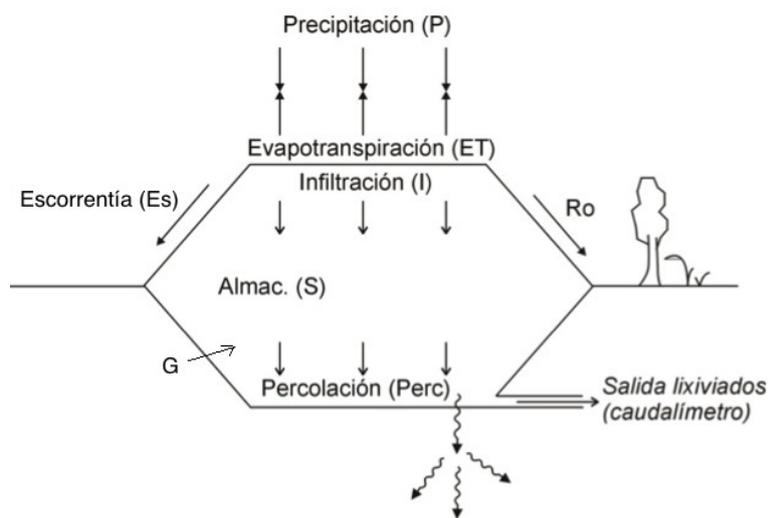


Figura 5. Esquema de un balance hídrico.

Lo que en la Figura 5 aparece como *percolación* se refiere a la parte de los lixiviados que no alcanza el caudalímetro o, en su caso, la balsa de lixiviados, debido a posibles fugas desde los límites del vertedero. En este caso, el volumen de lixiviados generado y, en su caso, controlado por el caudalímetro sería el siguiente:

$$\text{Salida de lixiviados} = P - Es - ET - \Delta S + G - \text{Perc}$$

Entradas y salidas

Además de los aspectos comentados en los párrafos anteriores, en el caso de los vertederos, es necesario tener en cuenta otros aspectos que pueden influir en el balance, ya que forman parte de las entradas o de las salidas de agua. Sin olvidar el volumen de agua almacenada, se recopilan a continuación los aspectos que pueden formar parte de las entradas y aquellos que pueden constituir las salidas del sistema:

Entradas

- **Infiltración procedente de la precipitación (IP):** la que cae sobre la superficie del vertedero y se infiltra a través de ella.

- **Infiltración a partir de aguas superficiales (IR):** se trata de aquella que no cae directamente sobre la superficie del vertedero, sino sobre una zona circundante, pero que por escorrentía superficial podría alcanzar la superficie del vertedero e infiltrarse a través de ella.
- **Entradas subterráneas por los límites (QTe):** agua infiltrada hacia el subsuelo en algún lugar de la cuenca vertiente superficial, que de forma subterránea puede llegar al vertedero a través de sus límites. Estos podrían no estar (correctamente) impermeabilizados.
- **Entradas subterráneas desde otros acuíferos (G):** agua que subterráneamente aportan acuíferos cercanos, que en principio parecen estar fuera de la cuenca vertiente al vertedero, pero que alcanzan el vertedero a través de sus límites.
- **Recarga artificial (RA):** cualquier tipo de entrada artificial de agua al vertedero debida a riegos, recirculación de lixiviados u otros.

Salidas

- **Evapotranspiración (ET):** cantidad de agua evaporada desde la superficie del suelo y transpirada por la cubierta vegetal. Se considera aquí también el volumen de lixiviados que se evapora desde la balsa de lixiviados.
- **Descarga directa del vertedero a la balsa de lixiviados (DB):** agua, en forma de lixiviado que sale hacia la balsa de lixiviados.
- **Descarga directa del vertedero a ríos o arroyos (DR):** agua en forma de lixiviado que, sin pasar por la balsa de lixiviados, alcanza curso/s superficial/es. No es otra que el agua que subterráneamente puede salir a través de los límites del vertedero, si estos no están correctamente impermeabilizados.
- **Salidas subterráneas a otros acuíferos (Qs):** agua en forma de lixiviado que, subterráneamente podría alcanzar acuíferos cercanos. Si dichos acuíferos carecen de manantiales visibles por donde los lixiviados podrían salir, estas salidas serán difíciles de detectar.
- **Salidas por manantiales (Qm):** agua en forma de lixiviado que, subterráneamente podría alcanzar acuíferos cercanos y manar hacia el exterior a favor de manantiales.

- **Bombeos (B):** extracción de agua o lixiviados, bien desde el seno del vertedero, bien de la arqueta de recogida de lixiviados o de cualquier otro punto de las instalaciones del vertedero.

4.4.4 OTROS

Hidroquímica

La existencia de datos hidroquímicos puede resultar de utilidad como apoyo al balance hídrico o para poder verificar los resultados obtenidos en el mismo. Una conductividad eléctrica anormalmente alta en las aguas de un piezómetro localizado aguas abajo de un vertedero, puede ser indicadora de la existencia de alguna fuga. Lo mismo se podría deducir si se observa una temperatura del agua anormalmente alta o sustancias químicas con contenidos anómalos o evoluciones peculiares en regatas o manantiales situados aguas abajo.

Geología

Un aspecto de interés, pero que rara vez se tiene en cuenta en la realización de balances hídricos en vertederos es, no sólo el tipo de material rocoso sobre el que se asienta la masa de vertido, sino también el buzamiento (inclinación) de los estratos (capas rocosas) y su sentido. Este aspecto debe ir recogido en la ficha correspondiente al inventario ambiental de la zona. Si bien es habitual que bajo el vertedero exista una capa de rellenos, de mayor o menor espesor, y de permeabilidad media-alta, esta suele encontrarse sobre el substrato rocoso. El sentido en el que se inclinan los estratos, dependiendo de su permeabilidad (k), puede influir en la dirección que, proveniente de los rellenos, podría adquirir el agua subterránea y, en su caso, las posibles fugas de lixiviados. La Figura 6 pretende ilustrar, mediante un ejemplo teórico, la influencia que podría ejercer el sentido de buzamiento de los estratos en la propagación de una posible fuga de lixiviados.

La situación es la siguiente:

Por una parte existe un vertedero en una vaguada en la que no hay puntos de agua. Por otra parte, existen varias zonas de infiltración (Z11 a Z13), por las que parte de la precipitación se infiltra y origina varios manantiales que se encuentran a cotas distintas. La zona de infiltración Z13 da lugar a dos manantiales distintos (M1 a M4), localizados uno en la parte más baja de la ladera norte, y el otro en la ladera sur, ambos por debajo de la cota del vertedero. Los manantiales M1 y M2 se encuentran ubicados por encima de la cota del vertedero. En este ejemplo se ha asumido que parte de los lixiviados percolan hacia el subsuelo (en rojo).

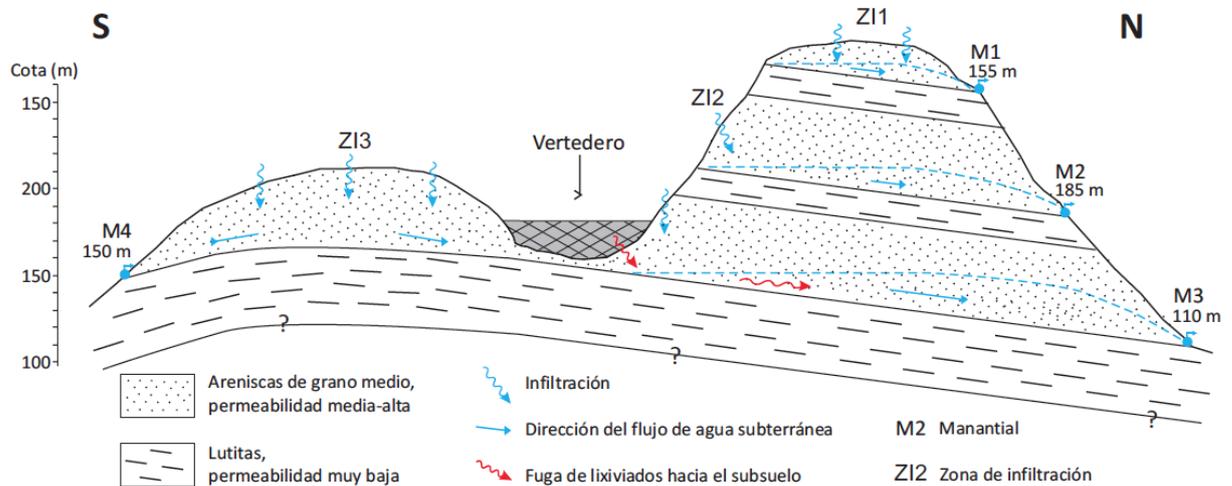


Figura 6. Ejemplo teórico de la posible disposición del substrato rocoso bajo el vertedero y en sus inmediaciones.

Ante esta situación, la posibilidad de que los lixiviados originados en el vertedero alcancen los manantiales M1 y M2 es nula, puesto que se encuentran a mayor cota. Por este motivo, se descartarían para un posible muestreo. Los manantiales M3 y M4, por su parte, se encuentran a menor cota que el vertedero, sin embargo, debido al buzamiento de los estratos (en la zona del vertedero buzamos hacia el norte), el manantial M4 también quedaría descartado para un posible muestreo, a pesar de estar más próximo al vertedero que el manantial M3. Sería este último el que habría que considerar para un posible muestreo.

Los datos hidroquímicos obtenidos a partir de este punto de muestreo, podrían servir de apoyo a la hora de interpretar los resultados del balance hídrico.

4.4.5 MODELO CONCEPTUAL DEL VERTEDERO EN RELACIÓN AL BALANCE HÍDRICO

Se incluirá un esquema del vertedero en el que se recogerán, a modo de resumen, las entradas y salidas de agua, de acuerdo con los datos obtenidos de los cálculos del balance hídrico, (preferiblemente en $m^3/año$). La Figura 7 representa un ejemplo de un posible esquema o modelo conceptual relativo al balance hídrico. El esquema irá recogido en el punto 4 de la ficha relativa al balance hídrico, a la que se adjuntarán los cálculos justificativos.

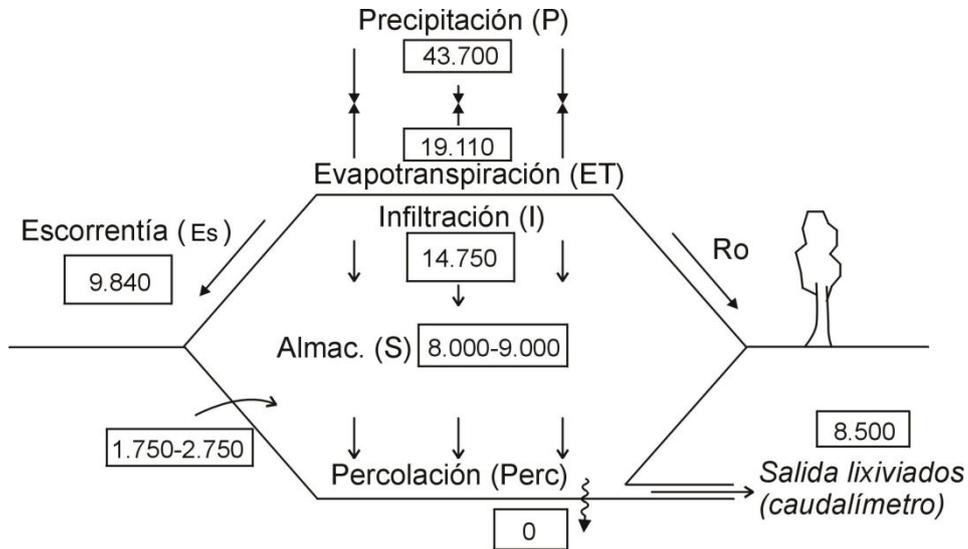


Figura 7. Esquema de un posible modelo conceptual de un vertedero en relación a los cálculos de un balance hídrico. (Los datos están dados en $\text{m}^3/\text{año}$).

4.5 IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE CONTAMINANTES Y RUTAS DE DESPLAZAMIENTO

4.5.1 SELECCIÓN DE PARÁMETROS CRÍTICOS

El objetivo de este análisis es en primer lugar la identificación del tipo de contaminación que puede generar el residuo depositado en el vertedero. Estos datos servirán para valorar los riesgos potenciales del vertedero, como punto de partida para abordar las siguientes etapas.

La determinación de los parámetros críticos se basará en el siguiente esquema:

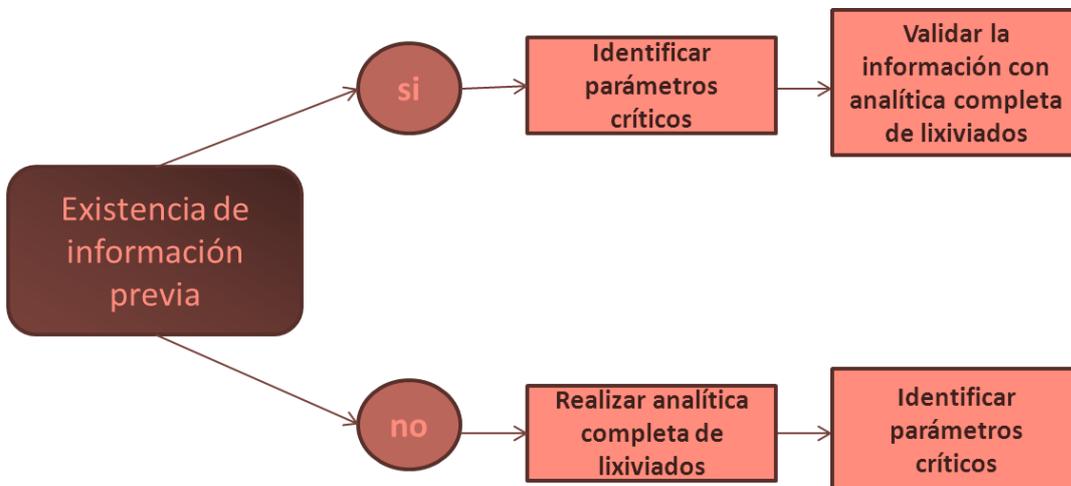


Figura 8. Esquema para la determinación de parámetros críticos

El análisis de los lixiviados servirá para seleccionar los parámetros que serán analizados después en las campañas de muestreo. Por lo tanto, según el anterior esquema:

- a) La existencia de información previa válida se refiere a la disponibilidad de analíticas completas previas realizadas sobre los lixiviados, bien en el marco del Programa de Vigilancia Ambiental establecido en la correspondiente Autorización Ambiental Integrada, o bien como a la caracterización básica del residuo presente en el vertedero, según el procedimiento de admisión de residuos en vertederos del Anexo II Decreto 49/2009 para cada productor y/o tipo de residuo admitido, incluyendo:
- Fuente y origen del residuo.
 - Grado de homogeneidad.
 - Forma física.
 - Composición química del residuo.
 - Comportamiento de lixiviación.

Con estos datos se tratarán de identificar aquellos parámetros críticos que deben someterse a seguimiento, teniendo especial consideración aquellos parámetros que:

- superen o igualen el 75 % del valor límite de lixiviación correspondiente. En el caso de que todos los resultados analíticos sean inferiores al 75 % del valor límite de lixiviación, se tomarán como parámetros críticos aquellos que más se acerquen.
- considerando las características químicas y físicas del residuo, supongan un riesgo debido a su composición, solubilidad, toxicidad, movilidad o persistencia.

Se realizará una analítica completa de una muestra representativa de los lixiviados para confirmar la validez de la información previa. Se considerarán lixiviados aquellos cursos de agua que hayan atravesado la masa de residuo o hayan circulado sobre ella en contacto directo con los residuos. Si hubiera varios focos de lixiviados se tomará una muestra por cada uno de ellos.

Se tratará siempre de buscar posibles flujos de lixiviados alrededor del vertedero, no obstante en caso de no resultar posible obtener muestra de lixiviados, se tomará con objeto de determinar los contaminantes indicadores una muestra de suelo superficial lo más cerca posible de la masa de vertido, o bien se realizará un ensayo de lixiviación sobre una muestra representativa del residuo depositado en el vertedero. Éste último caso se realizará con carácter meramente orientativo.

Los resultados obtenidos se incorporarán a la Ficha 5 correspondiente. Aquellos parámetros (de 4 a 6 parámetros) que muestren un mayor valor relativo respecto a las concentraciones de referencia (Tabla 5), se tomarán como indicadores de la afección del vertedero al entorno y serán los seleccionados para su seguimiento en el plan de muestreo posterior. Para los valores de referencia se considerará el Real Decreto 927/88, de 29 de Julio para la calidad exigida a las aguas superficiales que sean destinadas a la producción de agua potable (Tabla 5), en base a los cuales se calcularán los ratios correspondientes mediante la división de la concentración en el lixiviado y el valor de referencia en cada caso.

- b) Si no hay información previa suficientemente, ésta no es fiable o los residuos depositados son muy variados, se deberá hacer un barrido general de contaminantes sobre una muestra de lixiviados, partiendo de la siguiente relación:

PARAMETRO	Unidad	Real Decreto 927/88 Tipo A3
pH	-	5,5-9
Conductividad eléctrica	µS/cm	1.000
Temperatura	º C	25
Arsénico	mg/l	0,1
Cadmio	mg/l	0,005
Cobre	mg/l	1
Cromo	mg/l	0,05
Mercurio	mg/l	0,001
Níquel	mg/l	0,05*
Plomo	mg/l	0,05
Zinc	mg/l	5
Cianuros	mg/l	0,05
Fenoles	mg/l	0,1
Aceite mineral	mg/l	1
Hidrocarburos Aromáticos (PAH's)	Policíclicos mg/l	0,001
Policlorobifenilos (PCB's)	mg/l	0,005*
AOX/EOX	mg/l	0,005*
DBO5	mg/l	7
DQO	mg/l	30
Nitratos	mg/l	50
NTK	mg/l	3
Amoniaco	mg/l	4
Bario	mg/l	1
Sólidos en Suspensión	mg/l	25*
Cloruros	mg/l	200
Fluoruros	mg/l	1,7
Fosfatos	mg/l	0,7

Tabla 5. Caracterización mínima a realizar sobre los lixiviados

*Valores orientativos

Ídem que en el caso anterior, aquellos parámetros (de 4 a 6 parámetros) cuyas concentraciones muestren un mayor valor relativo respecto a las concentraciones de referencia, en base al Real Decreto 927/88, de 29 de Julio para la calidad exigida a las aguas superficiales que sean destinadas a la producción de agua potable (Tabla 5), se tomarán como indicadores de la afección del vertedero al entorno y serán los seleccionados para su seguimiento en el plan de muestreo posterior.

Además de la dispersión de contaminantes a través del medio acuoso, siempre se deberá tener en cuenta la posible generación de gases de vertedero así como la volatilización de los residuos depositados, y su dispersión en el medio. Se indicará en la Ficha 5 la granulometría del residuo (pulverulento, ligero, pesado...), como indicador físico de la posible dispersión del residuo en el entorno del vertedero.

4.5.2 MODELO CONCEPTUAL DEL RIESGO

Con los datos obtenidos hasta el momento, las rutas de desplazamiento o migración de la contaminación determinarán, en gran medida, el modelo conceptual del riesgo. Cuando un contaminante es liberado al medio, éste puede ser transportado (en solución o en suspensión en el agua, en suspensión en el aire, escorrentía superficial,...), ser físicamente transformado (volatilización, precipitación, etc.), ser químicamente transformado (por fotólisis, hidrólisis, oxidación, reducción, etc.), sufrir una transformación biológica o puede acumularse en uno o más medios (incluido el medio receptor).

No todos los compuestos químicos se comportan del mismo modo y, en consecuencia, su migración se puede producir a través de medios distintos. Por este motivo, para conocer su comportamiento es necesario obtener información sobre sus propiedades y comportamiento ambiental. Esto dará una idea de a través de o hacia qué medio se pueden desplazar.

La Figura 9 pretende plasmar, de forma muy esquemática, las posibles rutas de migración. Cabe señalar que la casuística en cada vertedero será distinta, por lo que las vías de desplazamiento en cada uno de ellos serán también diferentes. En algunos podrán identificarse varias vías de migración y, en el mejor de los casos, ninguna, caso poco probable.

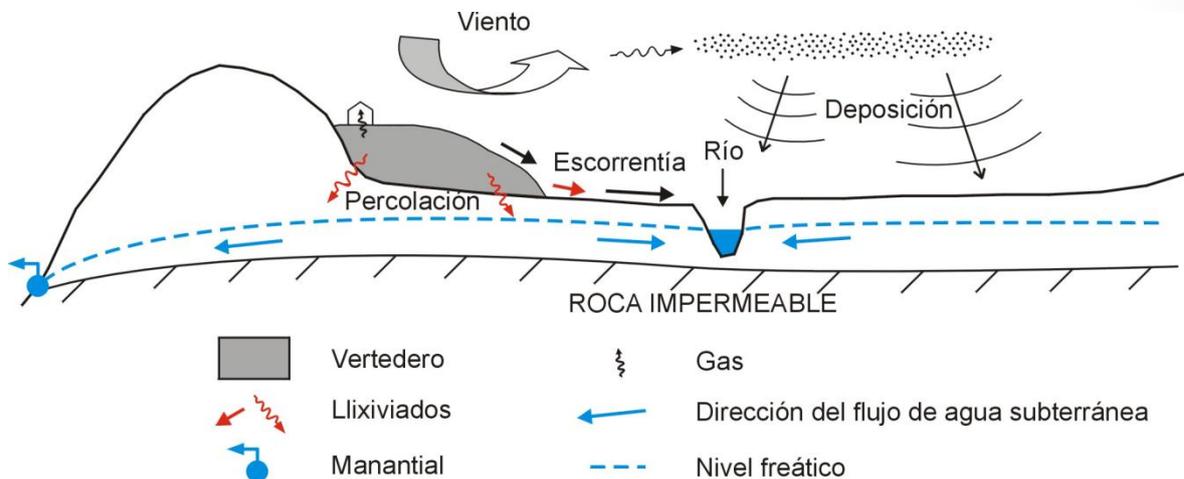


Figura 9. Posibles rutas de migración de contaminantes.

Tal y como muestra la Figura anterior, se han considerado cuatro posibles rutas de desplazamiento que se describen a continuación:

- **Viento/ Volatilización/ Migración de gases de vertedero:** implica tanto el arrastre de partículas o sólidos que pudiera haber en la superficie del vertedero, así como el desplazamiento de contaminantes en forma de gas, que pudieran provocar incendios, explosiones, asfixia o toxicidad.
- **Escorrentía:** al igual que en el caso del viento, considera el arrastre y/o disolución de partículas sólidas impregnadas de sustancias contaminantes que pudiera haber en la superficie del vertedero. Además, los lixiviados del vertedero podrían aflorar y moverse por la superficie del terreno hacia cotas más bajas.
- **Percolación:** hace referencia a la posible infiltración de lixiviados hacia el subsuelo desde el seno del vertedero o desde las instalaciones del mismo (red de drenaje de recogida de lixiviados, balsa de lixiviados, etc.). A través del nivel freático podría alcanzarse tanto manantiales como ríos y arroyos.
- **Deposición:** tarde o temprano, las partículas arrastradas por el viento acaban depositándose por gravedad sobre la superficie del terreno o sobre las masas de agua (superficial o subterránea).

Estas rutas de migración, por su parte, están asociadas a varios medios que pueden verse afectados, como son el suelo, las aguas superficiales y subterráneas y la atmósfera. En

relación a la exposición humana, y teniendo en cuenta las rutas de migración y los medios afectados, es posible identificar las rutas más significativas de exposición. La Figura 10 refleja los medios afectados y los posibles escenarios de exposición, partiendo de las rutas de migración descritas anteriormente.

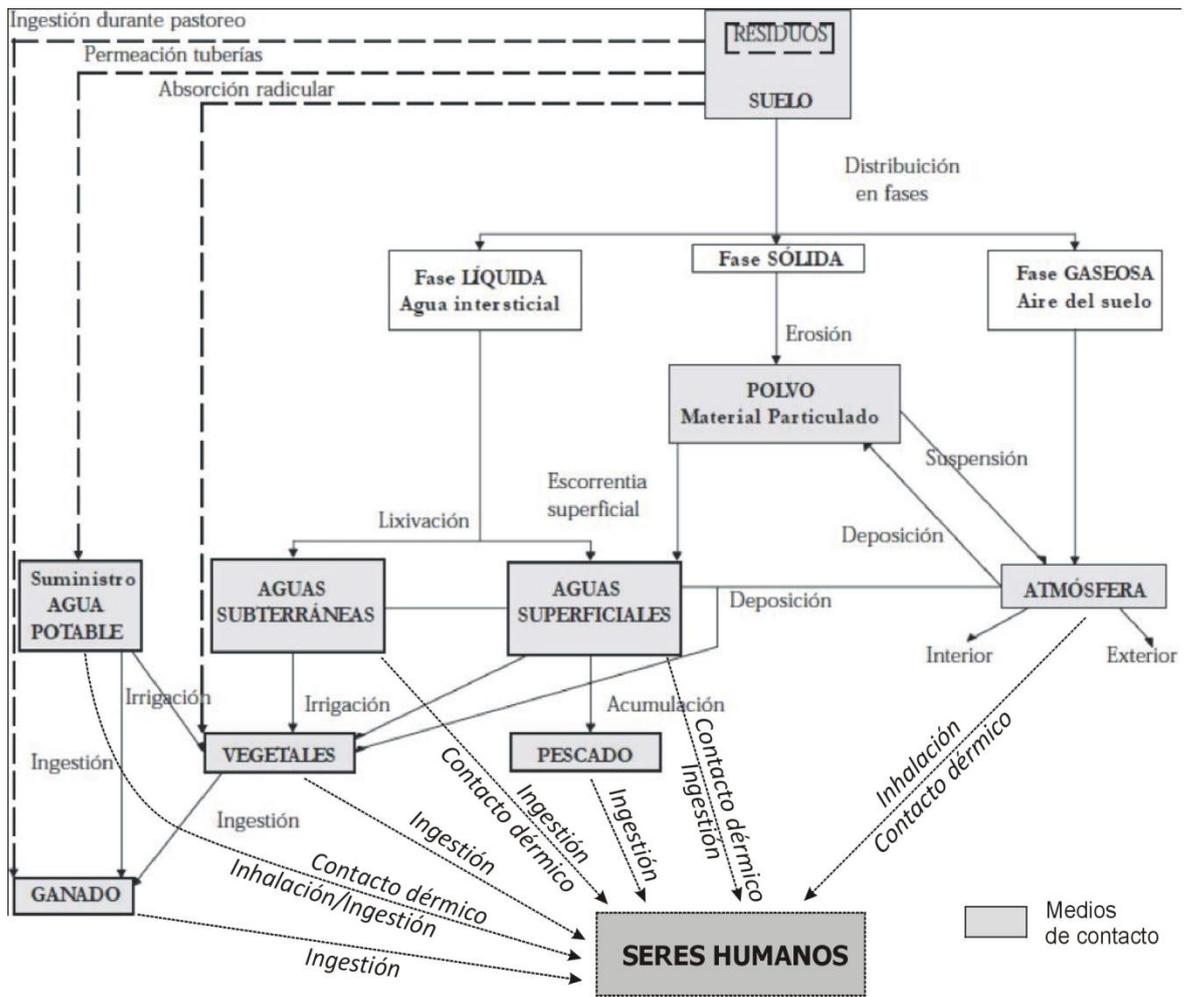


Figura 10. Medios y receptores finales que pueden verse afectados por el vertedero.

Partiendo de la Figura anterior, la siguiente tabla recoge las combinaciones posibles de rutas de desplazamiento, medios afectados, receptores y rutas de exposición, con las que se formularán las hipótesis que darán lugar al modelo conceptual de riesgo en cada caso.

RUTAS DE MIGRACIÓN	MEDIOS AFECTADOS	RECEPTORES	RUTAS DE EXPOSICIÓN
VIENTO/VOLATILIZACIÓN /MIGRACIÓN DE GASES	ATMÓSFERA	ANIMALES	Inhalación
		SERES HUMANOS	Inhalación
DEPOSICIÓN	SUELO	PLANTAS	Acumulación
		ANIMALES	Ingestión
		SERES HUMANOS	Ingestión
	AGUAS SUPERFICIALES	PLANTAS	Contacto dérmico
		ANIMALES	Irrigación/Acumulación
		SERES HUMANOS	Ingestión
PERCOLACIÓN	AGUAS SUBTERRÁNEAS (pozos, manantiales, fuentes...)	PLANTAS	Contacto dérmico
		ANIMALES	Irrigación
		SERES HUMANOS	Ingestión/Acumulación
			Ingestión
ESCORRENTÍA	AGUAS SUPERFICIALES (arroyos, ríos...)	PLANTAS	Contacto dérmico
		ANIMALES	Irrigación
		SERES HUMANOS	Ingestión/Acumulación
	SEDIMENTOS	PLANTAS	Ingestión
		ANIMALES	Contacto dérmico

Tabla 6. Hipótesis de rutas y receptores a considerar en la elaboración del modelo conceptual de riesgo.

Por lo tanto, en cada caso deberá elaborarse un esquema o modelo conceptual de riesgo similar al de la Figura 9, donde se recojan las posibles rutas de desplazamiento de contaminantes. Se complementará con su correspondiente tabla identificando los medios afectados, receptores y rutas de exposición por cada una de las rutas de migración definidas en el modelo conceptual de riesgo. El modelo conceptual y la tabla de riesgos formarán parte de la Ficha 5 correspondiente a la identificación de contaminantes y rutas de desplazamiento.

4.6 DISEÑO Y ESTRATEGIA DE MUESTREO

4.6.1 INTRODUCCIÓN

A partir del modelo conceptual de riesgo definido en la etapa anterior, se concretará la estrategia de toma de muestras, no sólo en el propio vertedero sino también en su entorno. La campaña de muestreo permitirá obtener más información sobre aquellos aspectos identificados en el modelo conceptual, de modo que se establezcan las bases para la posterior identificación y valoración de los riesgos.

El programa de muestreo podrá incluir la toma de muestras tanto de las rutas de migración (lixiviados, gases) o de los medios afectados (agua subterránea, agua superficial, sedimentos, etc.) o, en casos excepcionales, de los receptores (vegetales, por ejemplo).

Sobre las muestras tomadas se analizarán los parámetros críticos determinados en la etapa anterior. No obstante no deben ser necesariamente los mismos para cada uno de los medios a analizar. La capacidad de cada contaminante de alcanzar un medio influirá en la selección. Así pues, el orden de los trabajos será el siguiente:

- i. Muestreo y análisis químicos de lixiviados o, cuando no existan lixiviados, de muestras de suelo cercanas a la base del vertedero.
- ii. Análisis de resultados y selección de parámetros críticos a analizar en muestras de suelos, aguas y sedimentos.
- iii. Muestreo y análisis químicos de los parámetros críticos en suelo, aguas superficiales, subterráneas, sedimentos y gases de vertedero.

Si todos los resultados de estos primeros análisis químicos de lixiviados dan concentraciones muy bajas, inferiores al nivel de referencia, puede descartarse que el riesgo asociado al vertedero sea elevado y, por tanto, parar su estudio en este momento, previa justificación.

4.6.2 CAMPAÑAS DE MUESTREO

El número de muestras a tomar de cada uno de los compartimentos ambientales podrá variar en cada emplazamiento.

La campaña de muestreo deberá llevarse a cabo durante un año, cumpliendo una frecuencia de muestreo, con carácter general, trimestral. No obstante es cierto que en ocasiones las posibilidades de muestreo están casi siempre unidas a las condiciones meteorológicas existentes en el momento. Por este motivo, si se establece una frecuencia de muestreo concreta es probable que haya muestras que no se puedan tomar. Adicionalmente, si se establecen campañas de muestreo con una separación constante en el tiempo, pero coincide que las condiciones meteorológicas/hidrológicas son similares, los resultados obtenidos serán también similares.

Por ello es importante establecer campañas de muestreo que abarquen situaciones hidrológicas distintas, de tal forma que los datos resultantes de los análisis aporten información de lo que ocurre en situaciones diferentes. Es por este motivo que conviene tomar muestras en condiciones de aguas altas, medias y bajas o, lo que es casi lo mismo, en condiciones húmedas, intermedias y secas. Por lo tanto la frecuencia trimestral es orientativa, con la premisa siempre de abarcar distintas condiciones meteorológicas e hidrológicas, y así deberá constar en la correspondiente Ficha 6.

4.6.3 MEDIOS A MUESTREAR

Se incluyen a continuación indicaciones para la toma de muestras de cada compartimento ambiental:

LIXIVIADOS

- El muestreo de lixiviados tiene como objeto realizar un seguimiento de los parámetros críticos seleccionados en la etapa anterior, así como valorar su variabilidad y evolución en el tiempo, lo que en muchas ocasiones permitirá valorar la afección directa de los lixiviados respecto el resto de vectores ambientales mediante una comparativa de los resultados.
- Se tratará de tomar la muestra en el punto más cercano posible a la masa de vertido, bien en la arqueta de lixiviados si existe canalización, o bien en un flujo de agua al pie del vertedero.
- En caso de existir balsa de lixiviados, se tomará la muestra antes de la entrada a dicha balsa.
- En cada campaña se determinará el caudal del flujo de lixiviado, representativo de las condiciones hidrológicas en el momento del muestreo.
- Si se observan distintos flujos o fugas de lixiviados, se tomará una muestra por separado en cada punto de descarga.
- Si no se observan lixiviados, podrán muestrearse acumulaciones de agua sobre la superficie de vertido.
- Si no hay lixiviados para determinar los parámetros indicadores, se tomarán muestras de suelo en la base del vertedero lo más cerca posible de la masa vertida y en zonas por donde discurran los posibles lixiviados.

SUELO

- Se tomarán muestras donde la contaminación sea más probable, considerando las vías de dispersión de los contaminantes según el modelo conceptual (contacto directo entre el residuo y el suelo, lixiviación, escorrentía o arrastre por viento).
- Se tomarán al menos 3 muestras superficiales (a menos de 30 cm de profundidad) en la zona más próxima posible a la masa de vertido.
- Los puntos de muestreo se localizarán en las zonas del entorno en las que pudiera existir una mayor afección, por ejemplo, en la zona situada al pie del talud.
- Los parámetros a analizar, obtenidos a partir de la Tabla 5 del lixiviado, se adaptarán a aquellos establecidos en el Anexo III de la Ley 4/2015 para la prevención y corrección de la contaminación del suelo, excepto aquellos parámetros que no tengan equivalente en dicha ley: AOX/EOX, Conductividad, T^ª, pH, DBO5, DQO, Nitratos, NTK, Amoniacó, Bario, Sólidos en Suspensión, Cloruros, Fosfatos. En estos casos, y para aquellos parámetros que sea posible analizar, se realizará una comparativa entre una muestra de suelo procedente de una zona potencialmente afectada por el vertedero y otra muestra fuera del ámbito de afección de la instalación.

AGUAS SUBTERRÁNEAS

- Se deberán muestrear en el caso de que existan aguas subterráneas de cierta importancia aguas abajo del vertedero.
- Se muestreará el primer acuífero superficial al que se llegue con los sondeos, ya que probablemente se trate de rellenos. Los acuíferos más profundos de tipo regional no serán objeto de muestreo en esta etapa.
- Siempre que sea posible, se deberán situar dos pozos de control aguas abajo del vertedero y uno aguas arriba. Los puntos seleccionados se ubicarán de tal manera que aseguren la representatividad de la afección directa del vertedero sobre las aguas subterráneas, evitando la presencia de instalaciones externas entre los pozos de control que puedan alterar los resultados. A la hora de ubicar los puntos de control se deberán también tener en cuenta la inclinación de los estratos rocosos y su sentido, tal y como se muestra en la Figura 6 del Capítulo 4.4.3.

- En caso de que las dimensiones del vertedero, la proximidad a un río o la densidad industrial en el entorno no hagan viable la instalación de tres piezómetros, se valorarán otras configuraciones.
- En caso de que se instalen pozos de control, es aconsejable aprovechar el sondeo y muestrear los testigos extraídos, analizando diferenciadamente aquellas capas que presenten indicios organolépticos de contaminación (color, olor, etc.).
- En cada campaña trimestral se tomará al menos una muestra de agua subterránea por cada pozo de control, de modo que se pueda realizar una comparativa de los resultados aguas arriba y aguas abajo del vertedero.

AGUAS SUPERFICIALES

- Se deberán muestrear si existen cursos de agua superficial de pequeña entidad cercanos al vertedero (regata, arroyo), especialmente aquellos con caudal pequeño y elevada calidad de las aguas, donde el impacto pueda ser mayor o más fácilmente detectable.
- Por cada curso de agua potencialmente afectado por el vertedero, se tomará una muestra aguas arriba del vertedero y otra aguas abajo, lo más cerca posible de la masa vertida. Se debe asegurar que la tomada aguas arriba no está afectada por el vertedero.

SEDIMENTOS

- Su tiempo de permanencia en el medio es mayor, por lo que los resultados de muestras de sedimentos pueden ser más significativos que los del agua superficial.
- El muestreo de sedimentos se debe realizar de forma análoga al de aguas, es decir, tomando una muestra aguas arriba y otra aguas abajo del vertedero, pero a poca distancia de él, intentando conseguir la fracción más fina de los mismos.
- Al igual que para el muestreo de suelos, los parámetros a analizar en sedimentos, obtenidos a partir de la Tabla 5 del lixiviado, se adaptarán a aquellos establecidos en el Anexo III de la Ley 4/2015 para la prevención y corrección de la contaminación del suelo, excepto aquellos parámetros que no tengan equivalente en dicha ley: AOX/EOX, Conductividad, T^a, pH, DBO5, DQO, Nitratos, NTK, Amoniaco, Bario, Sólidos en Suspensión, Cloruros, Fosfatos. En estos casos, y para aquellos parámetros que sea

posible analizar, se realizará una comparativa entre una muestra de sedimento aguas arriba del vertedero y otra aguas.

EMISIONES DE GASES Y DE PARTÍCULAS

- Se realizarán trimestralmente campañas de medición directa de gases del vertedero en el interior de las chimeneas o conductos de desgasificación, salidas de lixiviados (arquetas de control, balsa de lixiviados), salida de aguas subsuperficiales, galerías subterráneas, superficie del vaso de vertido, perímetro del área de explotación, espacios confinados y zonas de trabajo exteriores e interiores. El control de gases deberá ser representativo de cada sección del vertedero.
- Se dará cumplimiento a las prescripciones establecidas en el “Documento guía sobre la reducción de las emisiones de gases en vertedero” publicado en 2015 por el Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial del Gobierno Vasco.
- Los parámetros a medir serán los siguientes: CO (ppm), CO₂ (% Vol.), O₂ (% Vol.), H₂S (ppm) y CH₄ (% Vol.), Presión (mbar) y Temperatura (° C). En el caso de la presión, se registrará tanto la presión atmosférica como la presión interna en el caso de conductos, arquetas o espacios cerrados, lo que permitirá conocer la existencia o no de caudal de gas.
- Las mediciones se realizarán mediante analizador de gases, manómetro y termómetro debidamente calibrados. Los equipos de medición deberán estar provistos de accesorios tales como trampas de condensados o filtros hidrófobos y de polvo, con el fin de evitar posibles interferencias en las mediciones por causa de la presencia de vapor de agua o partículas en los gases de vertedero.
- Se realizarán inspecciones visuales de presencia de polvo en suspensión atmosférica, así como de partículas o residuos depositados en vegetación o en otros lugares en el entorno del vertedero.

4.6.4 PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO

En cuanto a los aspectos relativos a la forma en que han de tomarse las muestras en los diferentes medios, se recomienda consultar la “Guía metodológica para la toma de muestras” (IHOBE, S.A. 1998), para más especificaciones sobre equipos y técnicas que se utilizan habitualmente en los trabajos de campo, instalación de pozos de control o preparación y conservación de las muestras en el campo previo a su traslado al laboratorio.

El método a utilizar para la toma de muestras podrá variar según el caudal y la profundidad de la corriente. En cualquier caso, los muestreos deben ser realizados por una Entidad acreditada a tales efectos, y las muestras recogidas deberán ser trasladadas a un laboratorio, homologado y acreditado conforme Norma UNE EN ISO 17.025, para la determinación analítica de los diferentes parámetros, exceptuando el pH, Tª y conductividad en medio líquido, así como los parámetros de medición en gases, que serán determinados in situ.

La siguiente tabla resume las consideraciones generales acerca de los materiales de envasado más apropiados para la toma y conservación de las muestras, en base al grupo de parámetros a analizar:

Grupo de sustancias	Material envase
Metales pesados	vidrio+PE
Sustancias inorgánicas (excepto fluoruros)	vidrio+PE
Fluoruros	polietileno
EOX y fenoles sustituidos	vidrio
PAHs, PCBs, pesticidas organoclorados, organofosforados y organonitrogenados	vidrio opaco
Aceites minerales	vidrio

Tabla 7. Consideraciones sobre los tipos de envases a utilizar en el muestreo.

Como procedimientos de actuación generales se pueden definir los siguientes:

- Se consultará con el laboratorio homologado correspondiente antes de proceder a la toma de muestras acerca de los recipientes más apropiados para las determinaciones analíticas que se pretenden realizar, así como de aquellos volúmenes necesarios de muestra para que éste lleve a cabo con suficiente fiabilidad la analítica.
- Los recipientes deberán ser siempre de primer uso y se desecharán aquellos de los que se ignore su procedencia o no se conozca si han sido previamente utilizados. Se desecharán igualmente aquellos que no se encuentren en perfectas condiciones.
- Los recipientes y envases que vayan a emplearse en un muestreo deberán ser almacenados en un lugar protegido y alejado de cualquier posible fuente contaminante.

- Se deberá siempre disponer de un número mayor de recipientes o envases que las muestras a recoger, en prevención de posibles roturas, daños o contaminación en campo de éstos.
- Los equipos de muestreo, o aquellos con los que se va a manipular la muestra deben ser apropiados para el medio que se va a muestrear, debiéndose encontrar en buen estado y descontaminados.
- Durante la manipulación de las muestras se emplearán en la medida de lo posible accesorios de un sólo uso (bailers, guantes desechables, etc.).
- Durante el muestreo se debe llevar un perfecto registro de éste, mediante fichas o formatos específicos para la toma de muestras, incluso individualizados para los distintos medios, en los que se debe indicar como mínimo la ubicación (lugar y profundidad), fecha de toma de muestra, número o código de muestra, técnico de muestreo, medio muestreado, conservantes utilizados, y aquellas observaciones que puedan ser de utilidad (aspecto, olor, etc.).
- Las muestras serán correctamente etiquetadas de forma que coincidan exactamente con lo registrado en el formato de campo, cuya copia constituirá posteriormente la hoja de la cadena de custodia. Las etiquetas deberán incluir al menos la fecha y hora de muestreo, la ubicación, el técnico y el código o número de muestra, así como si se han empleado conservantes. Las etiquetas deberán ser resistentes al agua y serán rellenadas mediante un rotulador indeleble, siendo conveniente también señalar en la superficie del envase el número o código de muestra.
- Tras la extracción, recogida o toma de muestra, ésta deberá ser correctamente e inmediatamente almacenada según los requerimientos individuales del tipo de analítica a realizar. Normalmente se almacenarán en frío y en neveras portátiles o recipientes isotermos, que aislen las muestras de la temperatura exterior.
- El transporte de las muestras deberá haber sido previamente planificado, en función del cronograma de muestreo y de los tiempos máximos en que debe llegar a laboratorio para constituir una muestra representativa del medio.
- Los recipientes o neveras de transporte no se deberán llenar excesivamente para no provocar posibles roturas por excesivo peso o presión de los envases de muestreo. Los recipientes (especialmente cuando sean de vidrio) deberán ser colocados de forma que no tengan la suficiente holgura como para chocar entre ellos, pero sin ser

presionados. Se podrá introducir en la nevera cualquier material que pueda ser útil para proteger las muestras de choques entre ellas o de golpes procedentes del exterior.

- Las neveras deberán ser cerradas correctamente de forma que no puedan abrirse durante el transporte.
- Una copia de las hojas de la Cadena de Custodia deberán ser incluidas en el interior de las neveras. Estas hojas son de gran importancia ya que indican qué personas han estado en posesión de las muestras y han podido acceder a su manipulación, así como cuando se ha realizado la transferencia de las muestras de un sujeto o empresa a otra.
- Es conveniente realizar el aviso al laboratorio de la futura llegada de muestras, a fin de que los equipos analíticos se encuentren en condiciones operativas y la persona o técnico encargado de las determinaciones se halle bajo aviso.

4.7 VALORACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS

4.7.1 INTRODUCCIÓN

Una vez identificados los contaminantes críticos y las posibles rutas de desplazamiento y exposición, y se dispone de datos de muestreo y análisis químicos que permiten la verificación del modelo conceptual de riesgos, se hace necesario establecer un sistema que permita evaluar, de forma objetiva, el impacto ambiental o riesgo asociado a cada emplazamiento. En este sentido, se propone utilizar una matriz de valoración de riesgos, elaborada partiendo de una serie de factores de uso habitual en estudios de impacto ambiental. Se han considerado aquellos factores que podrían generar un impacto en la salud humana y en el ecosistema. La Tabla 8 muestra los factores considerados por grupos o bloques.

Factor de riesgo sobre la salud humana y el ecosistema	Referencia básica
BLOQUE 1: Sobre el ecosistema (Crónico)	
a) Calidad del suelo.	Presencia de contaminantes en el medio.
b) Calidad del aire.	Presencia de contaminantes en el medio.
c) Calidad de las aguas subterráneas.	Presencia de contaminantes en el medio.
d) Calidad de las aguas superficiales.	Presencia de contaminantes en el medio.
e) Calidad del sedimento.	Presencia de contaminantes en el medio.
f) Flora, fauna y cadena trófica.	Alteración de especies, hábitats, stress, bioacumulación.
g) Geomorfología.	Grado de alteración de formaciones de interés.
BLOQUE 2: Sobre la salud humana (crónico)	
a) Exposición a contaminantes tóxicos y/o cancerígenos.	Magnitud, frecuencia y duración de la exposición.
b) Exposición a malos olores y emisión de gases y partículas.	Magnitud, frecuencia y duración de la exposición.
c) Exposición a roedores e insectos.	Magnitud, frecuencia y duración de la exposición.
BLOQUE 3: Derivados de sucesos episódicos	
a) Eventual impacto sobre el ecosistema.	Afección al ecosistema derivada de un escenario potencialmente peligroso.
b) Eventual impacto sobre la salud humana.	Afección a la salud humana derivada de un escenario potencialmente peligroso.

Tabla 8. Relación de factores ambientales propuestos.

BLOQUE 1: Efectos sobre el ecosistema (carácter crónico). Se trata de aquellos factores que permiten evaluar los efectos a largo plazo sobre el ecosistema y que pueden producirse por la contaminación que se dispersa desde el vertedero hacia el entorno de manera continuada.

BLOQUE 2: Efectos sobre la salud humana (carácter crónico). Considera los factores relacionados con determinados efectos a largo plazo sobre la salud humana, como la exposición a contaminantes, o la posible transmisión de enfermedades por roedores o insectos.

BLOQUE 3: Efectos derivados de sucesos episódicos. Se tienen en cuenta los efectos de sucesos de duración relativamente corta y frecuencia relativamente baja sobre la salud humana o el ecosistema.

En cualquier caso, no todos los factores tienen la misma importancia relativa, por lo que se hace necesario considerar el peso específico de cada uno de ellos mediante unos coeficientes de ponderación, que se muestran en la siguiente Tabla.

Factor de riesgo sobre la salud humana y el ecosistema	Coefficiente Ponderación
1: Sobre el ecosistema	33
a) Calidad del suelo	3
b) Calidad del aire	4
c) Calidad de las aguas subterráneas	5
d) Calidad de las aguas superficiales	7
e) Calidad del sedimento	4
f) Flora, fauna y cadena trófica	9
g) Geomorfología	1
2: Sobre la salud humana	46
a) Exposición a contaminantes tóxicos y/o cancerígenos	29
b) Exposición a malos olores y emisión de gases y partículas	13
c) Exposición a roedores e insectos	4
3: Derivados de sucesos episódicos	21
a) Eventual impacto sobre el ecosistema	8
b) Eventual impacto sobre la salud humana	13

Tabla 9. Factores considerados y coeficientes de ponderación, sobre un total de 100 puntos.

La matriz de valoración de riesgos se genera considerando los factores ambientales citados y su valor ponderal y consta de las siguientes columnas (Tabla 10):

- i. Factor ambiental.
- ii. Coeficiente de ponderación.
- iii. Puntuación simple del factor ambiental a considerar en cada uno de los vertederos (del 1 al 10).
- iv. Puntuación ponderada de cada factor (Puntuación simple x coeficiente de ponderación).

En las filas de la matriz se detallan los factores considerados. Las casillas de la matriz se deben completar con las valoraciones simples y ponderadas de cada factor, con las correspondientes valoraciones totales por bloque y la valoración global (Ficha nº 7).

Factor de riesgo sobre la salud humana y el ecosistema	Coef. Pond.	PUNTUACIÓN SIMPLE	PUNTUACIÓN PONDERADA
1: Sobre el ecosistema	33		
a) Calidad del suelo	3		
b) Calidad del aire	4		
c) Calidad de las aguas subterráneas	5		
d) Calidad de las aguas superficiales	7		
e) Calidad del sedimento	4		
f) Flora, fauna y cadena trófica	9		
g) Geomorfología	1		
2: Sobre la salud humana	46		
a) Exposición a contaminantes tóxicos y/o cancerígenos	29		
b) Exposición a malos olores y emisión de gases y partículas	13		
c) Exposición a roedores e insectos	4		
3: Derivados de sucesos episódicos	21		
a) Eventual impacto sobre el ecosistema	8		
b) Eventual impacto sobre la salud humana	13		

Tabla 10. Matriz de valoración de impactos

4.7.2 CRITERIOS PARA LA VALORACIÓN DE IMPACTOS

Para poder aplicar este sistema de valoración de riesgos es necesario asignar una puntuación a cada uno de los factores en cada vertedero, para lo cual hay que tener en cuenta todos los datos recogidos en las fichas del vertedero, así como una serie de criterios en el momento de asignar valores numéricos a los factores considerados. Dichos criterios para la valoración de impactos se describen en las siguientes líneas, siendo aconsejable consultar para mayor detalle la Norma UNE 150008:2008 en la que están basados.

Es necesario, sin embargo, tener en cuenta que, el proceso de la valoración implica cierto grado de subjetividad, que no puede eliminarse totalmente en la medida en que no es posible describir todas las situaciones posibles y asignar una puntuación guía a cada una de ellas. Se debe destacar además que el proceso de análisis y evaluación de riesgos lleva asociado un cierto grado de incertidumbre que puede deberse a diversas causas. Es importante, por lo tanto, identificar las distintas fuentes de incertidumbre y su contribución a la estimación final del riesgo.

Por ello, al definir los criterios de evaluación para cada factor ambiental, en varios casos se ha preferido proporcionar unas guías iniciales y estimaciones **cuantitativas**, dejando un margen al juicio experto de quienes han de aplicar este método. Los técnicos especialistas, al evaluar el

impacto del vertedero sobre cada factor, deberán utilizar fundamentalmente, junto con estas guías iniciales, el conocimiento de que disponen sobre el vertedero, y poder asignar, en base a ello, valoraciones **cuantitativas** a cada riesgo identificado. En la Norma UNE 150008:2008 de Análisis y evaluación del riesgo ambiental se detalla asimismo la metodología específica para la valoración cuantitativa de los riesgos.

Según indica la Norma UNE 150008:2008, **RIESGO** es el resultado de una función que relaciona la probabilidad de ocurrencia de un determinado escenario de accidente y las consecuencias negativas del mismo sobre el entorno natural, humano y socioeconómico.

$$\text{Riesgo} = f(\text{probabilidad o frecuencia, consecuencia})$$

Para la estimación de la probabilidad de que se produzca un determinado escenario se pueden utilizar los datos recogidos en el plan de muestreo realizado sobre el vertedero, así como datos históricos del emplazamiento y del sector en general, bibliografía especializada, etc. Se muestran a continuación criterios de estimación y valoración cualitativa de la probabilidad de ocurrencia según Norma UNE 150008:2008.

Probabilidad o frecuencia	Valoración cualitativa de la probabilidad
< 1 vez/mes (incluyendo continuo)	Muy probable
1 vez/mes – 1 vez/año	Altamente probable
1 vez/año – 1 vez/10 años	Probable
1 vez /10 años – 1 vez /50 años	Posible
>1 vez/50 años	Improbable

Tabla 11. Valoración cualitativa de la probabilidad de ocurrencia del riesgo (Fuente: Norma UNE 150008:2008).

En cuanto a la estimación de consecuencias, la norma recoge cuatro criterios que se deben evaluar para cada factor de riesgo:

Cantidad/ concentración	+ 2 x peligrosidad	+ extensión	+ calidad del medio	= gravedad sobre el entorno natural
Cantidad/ concentración	+ 2 x peligrosidad	+ extensión	+ población afectada	= gravedad sobre el entorno humano

Así, para estimar las consecuencias para el entorno humano se pueden considerar, a modo de ejemplo, los siguientes criterios de valoración cualitativa de consecuencias:

CANTIDAD (Tm)*		PELIGROSIDAD	
Muy alta	> 500	Muy peligrosa	Muy inflamable Muy tóxica Causa efectos irreversibles inmediatos
Alta	50-500	Peligrosa	Explosivas Inflamables Corrosivas
Poca	5-49	Poco peligrosa	Combustibles
Muy poca	> 5	No peligrosa	Daños leves y reversibles
EXTENSIÓN		RECEPTORES	
Muy extenso	Radio > 1 km	Muy alto	Más de 100 personas
Extenso	Radio < 1 km	Alto	Entre 50 y 100 personas
Poco extenso	Emplazamiento	Bajo	Entre 5 y 50 personas
Puntual	Área afectada	Muy bajo	Menos de 5 personas

* En el caso de concentraciones, la valoración será en función de los valores indicativos de referencia.

Tabla 12. Valoración cualitativa de la consecuencia del riesgo (Fuente: Norma UNE 150008:2008).

A continuación se detallan las consideraciones específicas a tener en cuenta para cada factor de riesgo:

BLOQUE 1: RIESGOS SOBRE EL ECOSISTEMA (CRÓNICOS)

Suelo, aguas y sedimentos

En el caso de la valoración del riesgo sobre el suelo, las aguas subterráneas y superficiales y los sedimentos, se utilizarán como referencia de comparación valores indicativos de la "calidad" de los diferentes medios, establecidos en contextos diversos para la protección de la salud humana y los ecosistemas, que se incluyen en las Tabla 13 y Tabla 14, así como en las correspondientes Autorizaciones Ambientales Integradas o mediante consulta de valores reales de referencia en puntos de control cercanos al emplazamiento, en fuentes como la red Telur.

En el caso de aquellos parámetros que no tengan equivalente en dichos indicadores de referencia, se realizará una comparativa entre muestras procedentes de una zona potencialmente afectada por el vertedero y otras fuera del ámbito de afección de la instalación.

PARAMETRO	Unidad	AGUAS SUBTERRÁNEAS Dutch Target Values	AGUAS SUBTERRÁNEAS Dutch Intervention Values
pH	-	-	-
Conductividad eléctrica	μS/cm	-	-
Temperatura	°C	-	-
Arsénico	mg/l	0,01	0,06
Cadmio	mg/l	0,0004	0,006
Cobre	mg/l	0,015	0,075
Cromo	mg/l	0,001	0,03
Mercurio	mg/l	0,00005	0,0003
Níquel	mg/l	0,015	0,075
Plomo	mg/l	0,015	0,075
Zinc	mg/l	0,065	0,8
Cianuros	mg/l	0,01	1,5
Fenoles	mg/l	0,0002	2
Aceite mineral	mg/l	0,05	0,6
Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (PAH's)	mg/l	0,0002*	0,01*
Policlorobifenilos (PCB's)	mg/l	0,00001	0,00001
AOX/EOX	mg/l	0,0005*	1*
DBO5	mg/l	-	-
DQO	mg/l	-	-
Nitratos	mg/l	-	-
NTK	mg/l	-	-
Amoniaco	mg/l	-	-
Bario	mg/l	0,05	0,625
Sólidos en Suspensión	mg/l	-	-
Cloruros	mg/l	-	-
Fluoruros	mg/l	-	-
Fosfatos	mg/l	-	-

*Valores orientativos

Tabla 13. Valores indicativos de calidad de aguas subterráneas para la protección de los ecosistemas.

	Suelo (mg/kg)		Sedimento (mg/kg)		Aguas superficiales (µg/l)	
	VIE-B	VIE-C	TEC	PEC	Toxicidad crónica	Toxicidad aguda
Arsénico (As)	23	35	12,1	57	190	360
Cadmio (Cd)	0,8	18	0,6	11,7	1,1	3,9
Cromo (Cr) ⁺³	53	75	56 (total)	159 (total)	210	1700
Cobre (Cu)	24	250	28	77,7	12	18
Mercurio (Hg)	0,3	3	0,2	2	-	2,4
Níquel (Ni)	40	280	38	75	160	1400
Plomo (Pb)	44	330	34	396	3,2	82
Cobalto (co)	20	30	-	-	-	-
Zinc (Zn)	106	840	159	1532	110	120
CN		0,1 ⁽¹⁾	-	-	5,2	22
Fenoles	-	30	-	-	110	3600
Aceite Mineral		100 ⁽¹⁾	-	-	-	-
PAH's	50*	500*	3,5	13,7	-	-
PCB's	-	0,03	0,03	0,25	-	2
AOX/EOX	-	25*	-	0,01*	-	-

* Valores orientativos ⁽¹⁾ Valor de referencia

FUENTES: SUELO = IHOBE, S.A., 1998

B = Valor máximo con riesgo aceptable

C = Concentración por encima de la cual el riesgo es inaceptable

SEDIMENTOS = U.S. Department of Energy: 1997 Revision.

TEC = Concentración de efecto umbral

PEC = Concentración efectos probables

AGUAS SUP = U.S. Department of Energy: 1996 Revision.

Tabla 14. Valores indicativos de calidad de suelo, sedimentos y aguas para la protección de ecosistemas (IHOBE, 2000).

Los resultados de los distintos análisis de las muestras tomadas de suelo, aguas superficiales, aguas subterráneas y sedimentos se compararán con los valores indicativos correspondientes a uno de estos medios y se asignará una puntuación en cada caso, que podrá ir de 10 (impacto muy alto) a 1 (impacto muy bajo), siguiendo una combinación de los criterios de probabilidad, cantidad/concentración, peligrosidad, extensión y receptores (Tabla 11 y Tabla 12).

Aire

Resulta imprescindible tener en cuenta que, mezclado con aire en una proporción de 5 a 15% en volumen, el metano forma una mezcla explosiva, provocando una situación de riesgo en puntos distantes del vertedero dada la facilidad que tiene el gas para la migración subterránea. Por encima de este límite superior, la mezcla metano-aire arde y, por tanto, supone un riesgo de incendio. A su vez, los incendios en los vertederos pueden dar lugar a la formación de dibenzofuranos clorados y dioxinas. Además del peligro de explosión o de incendio, el gas de vertedero desplaza el oxígeno y provoca la asfixia de los organismos vivos. En resumen, la generación y emisión incontrolada del gas de vertedero presenta una serie de problemas, tales como:

- Incendio y explosión.
- Inestabilidad del vertedero: presencia de bolsas de gas.
- Toxicidad: asfixia por metano y CO₂, toxicidad por sus componentes minoritarios.
- Malos olores.
- Daños en la vegetación: clorosis, defoliación y pérdida de ramaje, crecimiento enano, desarrollo superficial de raíces, asfixia por desplazamiento, alteración del pH por CO₂.
- Daños en la fauna: lombrices, hormigas, topos...
- Efecto invernadero: se considera que el metano produce un efecto invernadero 25 veces superior al CO₂.

Por lo tanto, en el caso del aire se puntuará de 10 (riesgo muy alto) a 1 (riesgo muy bajo), atendiendo a los siguientes criterios:

- Existencia de gases de vertedero, en base a los resultados de las medidas realizadas. A la hora de valorar, se tendrá especial consideración en caso de que se supere alguno de los valores de referencia indicados en la Tabla 15 en lugares de trabajo, espacios confinados, y en general todas aquellas zonas externas al propio sistema de captación y tratamiento de gases (salidas de conductos y de galerías, arquetas, superficie del vaso de vertido y perímetro del área de explotación). Si la medida en que se sobrepasan los valores indicativos máximos es importante, la puntuación asignada se aumentará en base a los criterios establecidos en las Tabla 11 y Tabla 12.

PARAMETRO	Unidad	Límites
CH ₄	% Vol	5 (LIE)
	ppm	1000 (TWA)
CO	% Vol	12,5 (LIE)
	ppm	25 (TWA)
CO ₂	ppm	5000 (TWA)
	ppm	30000 (STEL)
H ₂ S	% Vol	4,3 (LIE)
	ppm	10 (TWA)
	ppm	15 (STEL)
O ₂	% Vol	20,5 (concentración mín. requerida)

LIE: Límite inferior de explosividad.

TWA "Time-Weighted Average": concentración promedio ponderada para 8 horas que no deberá ser superada en ningún turno de 8 horas para semanas laborales de 40 horas.

STEL "Short-Term Exposure Limit": concentración promediada para períodos de 15 minutos (si no se especifica otro período de tiempo) que no debe superarse en ningún momento de la jornada de trabajo.

Tabla 15. Valores de referencia para gases de vertedero (Fuente: INSHT).

- Existencia de sistema de captación y tratamiento de gases y su rendimiento.
- Existencia de residuos depositados con componentes volátiles, que generen emisiones nocivas o puedan provocar incendios.
- Evidencia de incendios, gases de combustión u olores característicos.
- Existencia de residuos depositados con granulometría fina.
- Circulación de camiones que provoque el levantamiento de partículas en suspensión.
- Evidencia de partículas en suspensión.

Flora, fauna y cadena trófica

En este apartado se realiza la valoración del impacto originado por el vertedero en el componente biótico del medio natural. Para ello se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- Madurez, complejidad y singularidad del ecosistema primitivo (anterior a la instalación del vertedero o el existente en su entorno).
- Ubicación del vertedero en áreas próximas a espacios naturales protegidos, áreas sensibles, etc.
- Magnitud de la transformación ocurrida con la instalación del vertedero respecto a la existente antes de ella, teniendo en cuenta la madurez, complejidad y singularidad de la situación anterior.

Geomorfología

Se valora aquí la alteración ocurrida sobre el relieve original, prestando especial atención a las modificaciones sobre la hidrología del entorno del vertedero y a las alteraciones de la topografía. Entre las alteraciones que pueden considerarse están:

- Vertido sobre laderas que puede dar lugar a deslizamientos.
- Modificación del curso de aguas superficiales o de escorrentía.
- Aumento de la susceptibilidad a la erosión del suelo como consecuencia de esas modificaciones al curso de las aguas.
- Vertido que disminuya el espacio disponible en caso de avenidas y pueda dar lugar a inundaciones aguas arriba de su localización (por ejemplo, en casos concretos de relleno de una llanura de inundación).
- Limitaciones al acceso a zonas del entorno del vertedero debidas a la presencia de la masa vertida.

BLOQUE 2: RIESGOS SOBRE LA SALUD HUMANA (CRÓNICOS)

Exposición a contaminantes tóxicos y/o cancerígenos

En este apartado se trata de valorar la magnitud, frecuencia y duración de la exposición del ser humano a los diferentes contaminantes medidos en los diversos compartimentos ambientales.

Tomando como referencia el modelo conceptual de riesgos elaborado para el vertedero, para valorar el riesgo sobre la salud humana se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- La magnitud de las concentraciones observadas y los diferentes medios afectados (suelo y agua). Se utilizarán como referencia de comparación los valores indicativos de la “calidad” de los diferentes medios para la protección de la salud humana, incluidos en las tablas siguientes. Se utilizarán los mismos criterios de puntuación indicados para el Bloque 1. Ídem que para dicho Bloque, en el caso de aquellos parámetros que no tengan equivalente en dichos indicadores de referencia, se realizará una comparativa entre muestras procedentes de una zona potencialmente afectada por el vertedero y otras fuera del ámbito de afección de la instalación.

PARAMETRO	Unidad	AGUAS SUPERFICIALES Real Decreto 927/88 Tipo A3	AGUAS SUBTERRÁNEAS Dutch Target Values	AGUAS SUBTERRÁNEAS Dutch Intervention Values
pH	-	5,5-9	-	-
Conductividad eléctrica	μS/cm	1.000	-	-
Temperatura	°C	25	-	-
Arsénico	mg/l	0,1	0,01	0,06
Cadmio	mg/l	0,005	0,0004	0,006
Cobre	mg/l	1	0,015	0,075
Cromo	mg/l	0,05	0,001	0,03
Mercurio	mg/l	0,001	0,00005	0,0003
Níquel	mg/l	0,05*	0,015	0,075
Plomo	mg/l	0,05	0,015	0,075
Zinc	mg/l	5	0,065	0,8
Cianuros	mg/l	0,05	0,01	1,5
Fenoles	mg/l	0,1	0,0002	2
Aceite mineral	mg/l	1	0,05	0,6
Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (PAH's)	mg/l	0,001	0,0002*	0,01*
Policlorobifenilos (PCB's)	mg/l	0,005*	0,00001	0,00001
AOX/EOX	mg/l	0,005*	0,0005*	1*
DBO5	mg/l	7	-	-
DQO	mg/l	30	-	-
Nitratos	mg/l	50	-	-
NTK	mg/l	3	-	-
Amoniaco	mg/l	4	-	-
Bario	mg/l	1	0,05	0,625
Sólidos en Suspensión	mg/l	25*	-	-
Cloruros	mg/l	200	-	-
Fluoruros	mg/l	1,7	-	-
Fosfatos	mg/l	0,7	-	-

*Valores orientativos

Tabla 16. Valores indicativos de calidad de aguas superficiales y subterráneas para la protección de la salud humana.

PARAMETRO (ppm)	Industrial	Parque público	Urbano	Área de juego infantil	Otros usos
Arsénico	200	30	30	30	30
Cadmio	50	25	8	5	5
Cobre	*	*	*	*	*
Cromo (total)	550	400	200	90	200
Mercurio	40	15	4	4	4
Níquel	800	500	150	110	110
Plomo	1000	450	150	120	120
Zinc	*	*	*	*	*
Cianuros	25	5	5	5	5
Fenoles	25	25	25	2,5	2,5
PCB	0,8	0,8	0,08	0,08	0,01
Aceite mineral	-	-	-	-	-
Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (PAH's)	-	-	-	-	-
Policlorobifenilos (PCB's)	-	-	-	-	-
AOX/EOX	-	-	-	-	-
DBO5	-	-	-	-	-
DQO	-	-	-	-	-
Nitratos	-	-	-	-	-
NTK	-	-	-	-	-
Amoniaco	-	-	-	-	-
Bario	-	-	-	-	-
Sólidos en Suspensión	-	-	-	-	-
Cloruros	-	-	-	-	-
pH	-	-	-	-	-
Conductividad eléctrica	-	-	-	-	-
Temperatura	-	-	-	-	-

*El valor límite derivado es del orden de decenas de g/kg.

Tabla 17. Valores indicativos (VIE B) de calidad de suelos y sedimentos para la protección de la salud humana, expresados en mg/kg (Ley 4/2015).

- Los puntos de exposición tanto dentro como fuera del emplazamiento.
- Las rutas de exposición:
 - ❖ Ingestión.
 - ❖ Inhalación.
 - ❖ Contacto dérmico, etc.
- Los receptores:

- ❖ Residentes.
- ❖ Transeúntes.
- ❖ Trabajadores, etc.

Exposición a malos olores y emisión de gases y partículas

En este apartado se procede a valorar la magnitud, frecuencia y duración de la exposición del ser humano a olores, gases nocivos o partículas en suspensión. Para ello se tendrá en cuenta el modelo conceptual de riesgos y los siguientes aspectos:

- Presencia y niveles de concentración de gases de vertedero en los diferentes puntos muestreados, en los mismos criterios indicados para el Bloque 1.
- Existencia de sistema de captación y tratamiento de gases, y su rendimiento.
- Presencia de olores o emisión de partículas en el vertedero y su entorno.
- Puntos de exposición, tanto dentro como fuera del vertedero.
 - ❖ Receptores.
 - ❖ Residentes.
 - ❖ Transeúntes.
 - ❖ Trabajadores, etc.

Exposición a roedores e insectos

En este apartado se valora la magnitud, frecuencia y duración de la exposición a animales transmisores de enfermedades, cuya presencia tenga su origen en la existencia del vertedero: Para ello se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- Verificación de la existencia sobre el terreno de roedores, insectos o aves.
- Existencia de poblaciones cercanas.
- Tránsito de personas.

BLOQUE 3: RIESGOS DERIVADOS DE SUCESOS EPISÓDICOS

Eventual impacto sobre el ecosistema

En este apartado se valora el impacto que sobre el ecosistema pudiera tener la ocurrencia de un episodio accidental o catastrófico que afectara al vertedero, como son los casos de deslizamiento, inundación o incendio/explosión. Con este fin se deberá considerar:

- La probabilidad de que puedan ocurrir deslizamientos, valorada de acuerdo con los criterios siguientes:
 - ❖ Existencia actual o conocimiento de deslizamientos basados en la masa vertida, o en terrenos adyacentes, que pudieran ser indicativos de inestabilidades.

- ❖ Altura y/o pendiente elevada del talud del vertedero.
- ❖ Vertederos en laderas de gran pendiente.
- ❖ Ausencia o presencia de escolleras de protección del talud.
- ❖ Presencia de materiales de baja cohesión.
- La probabilidad de que pueda haber inundación de la masa vertida, considerando:
 - ❖ La proximidad a un curso de agua superficial.
 - ❖ La superficie de la cuenca drenante situada aguas arriba del vertedero.
 - ❖ La cota del vertedero en relación a la lámina de agua.
 - ❖ La morfología, pendiente y encauzamiento del curso de agua.
 - ❖ Constancia de sucesos históricos de inundación en el emplazamiento y su entorno.
- La probabilidad de que pueda darse un incendio o explosión originado en o por la masa vertida, considerando:
 - ❖ La cantidad de residuos potencialmente inflamables.
 - ❖ La toxicidad de los residuos potencialmente inflamables.
 - ❖ Constancia de sucesos históricos de incendios o explosiones en el emplazamiento y su entorno.
 - ❖ Posibles descomposiciones de compuestos que den lugar a gases inflamables.
- La posible afección al ecosistema en caso de deslizamiento, inundación, o incendio, considerando:
 - ❖ La calidad del ecosistema: madurez, singularidad, naturalidad, especies presentes, etc.
 - ❖ Los posibles efectos negativos: mortandad masiva, desaparición de especies, alteración de comunidades.

La máxima puntuación (10) se dará en casos de elevada probabilidad de eventos catastróficos y consecuencias muy negativas.

La mínima puntuación (1) se dará si la probabilidad es muy baja y la entidad de los efectos negativos es escasa.

Eventual impacto sobre la salud humana

En este concepto se valora el impacto que sobre la salud humana, pudiera tener la ocurrencia de un episodio catastrófico que afectara al vertedero, como un deslizamiento, una inundación o un incendio. Para ello, se deberá considerar:

- La probabilidad de que puedan ocurrir deslizamientos, incendios o inundaciones (ver eventual impacto sobre el ecosistema).
- La posible afección a la salud humana como consecuencia de estos eventos, valorada según:
 - ❖ La localización de viviendas y población.
 - ❖ Los usos de las aguas potencialmente afectadas.
 - ❖ La presencia en el entorno del vertedero de explotaciones agrícolas y ganaderas.
 - ❖ La existencia de infraestructuras de abastecimiento de aguas y/o saneamiento.

4.7.3 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Una vez obtenidas las puntuaciones individuales de cada factor mediante la matriz de valoración de riesgos, se debe proceder a evaluar los resultados obtenidos. Conviene que la evaluación de estos resultados sea similar en todas las situaciones, independientemente de los vertederos estudiados o de las personas concretas que realicen el análisis. Para facilitar esta labor se han establecido unos rangos que permiten estandarizar esta evaluación (Tabla 18).

VALORACIÓN	MÍNIMO	MÁXIMO	PUNTUACIÓN PONDERADA	ESTIMACIÓN DEL RIESGO
BLOQUE 1. Sobre el ecosistema.				
a) Calidad del suelo	3	30	3 – 7 8 – 15 16 – 23 24 – 30	BAJO MEDIO ALTO MUY ALTO
b) Calidad del aire	4	40	4 – 10 11 – 20 21 – 30 31 – 40	BAJO MEDIO ALTO MUY ALTO
c) Calidad de las aguas subterráneas	5	50	5 – 12 13 – 25 26 – 38 39 – 50	BAJO MEDIO ALTO MUY ALTO
d) Calidad de las aguas superficiales	7	70	7 – 17 18 – 35 36 – 53 54 – 70	BAJO MEDIO ALTO MUY ALTO
e) Calidad del sedimento	4	40	4 – 10 11 – 20 21 – 30 31 – 40	BAJO MEDIO ALTO MUY ALTO
f) Flora, fauna y cadena trófica	9	90	9 – 22 23 – 45 46 – 67 68 – 90	BAJO MEDIO ALTO MUY ALTO
g) Geomorfología	1	10	1 – 2 3 – 5 6 – 8 8 – 10	BAJO MEDIO ALTO MUY ALTO
BLOQUE 2. Sobre la salud humana.				
a) Exposición a contaminantes tóxicos o cancerígenos	29	290	29 – 72 73 – 145 146 – 217 218 – 290	BAJO MEDIO ALTO MUY ALTO
b) Exposición a malos olores o emisiones de partículas	13	130	13 – 32 33 – 65 66 – 97 98 – 130	BAJO MEDIO ALTO MUY ALTO
c) Exposición a roedores e insectos	4	40	4 – 10 11 – 20 21 – 30 31 – 40	BAJO MEDIO ALTO MUY ALTO
BLOQUE 3. Derivado de sucesos episódicos.				
a) Eventual impacto sobre el ecosistema	8	80	8 – 20 21 – 40 41 – 60 61 – 80	BAJO MEDIO ALTO MUY ALTO

VALORACIÓN	MÍNIMO	MÁXIMO	PUNTUACIÓN PONDERADA	ESTIMACIÓN DEL RIESGO
b) Eventual impacto sobre la salud humana	13	130	13 – 32	BAJO
			33 – 65	MEDIO
			66 – 97	ALTO
			98 - 130	MUY ALTO

Tabla 18. Valoración y estimación del riesgo detallada para cada factor.

La cumplimentación de la Ficha 7 facilita la labor de valoración de los riesgos y presentación de los resultados, no obstante se deberá adjuntar la justificación de la valoración individualizada del riesgo de cada factor.

A pesar de que el objetivo del Análisis de Riesgos es la identificación y evaluación de los principales riesgos individuales de la instalación, es interesante obtener una valoración del riesgo por bloques, así como el riesgo global del emplazamiento. Teniendo en cuenta la puntuación simple individual de cada uno de los factores, se indica en la siguiente Tabla el rango de puntuación y la estimación del riesgo global. En cualquier caso, la valoración del riesgo global será **como mínimo la del mayor riesgo individual identificado**.

Valoración	Mínimo	Máximo	PUNTUACIÓN	ESTIMACIÓN DEL RIESGO
Bloque 1: riesgos sobre el ecosistema	33	330	33 – 82	BAJO
			83 – 165	MEDIO
			166 – 247	ALTO
			248 – 330	MUY ALTO
Bloque 2: riesgos sobre la salud humana	46	460	46 – 115	BAJO
			116 – 230	MEDIO
			231 – 345	ALTO
			346 – 460	MUY ALTO
Bloque 3: riesgos derivados de sucesos episódicos	21	210	21 – 52	BAJO
			53 – 105	MEDIO
			106 – 158	ALTO
			159 – 210	MUY ALTO
VALORACIÓN GLOBAL	100	1000	< 200	BAJO
			200 - 400	MEDIO
			400 - 600	ALTO
			> 600	MUY ALTO

Tabla 19. Rango de valoración de riesgos por bloques y valoración global.

4.8 PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTORAS

Esta etapa se refiere propiamente a la gestión del riesgo, la cual tiene como objeto principal la toma de decisiones más adecuadas sobre los riesgos ambientales, fundamentadas en los criterios de seguridad y de eficiencia económica. Es en esta fase cuando se procede a seleccionar las medidas correctoras apropiadas a los vertederos en los que el riesgo evaluado sea inaceptable, y a realizar un diseño básico que permita una estimación aproximada de su coste.

La identificación de un riesgo o impacto en un vertedero de residuos industriales llevará implícita la necesidad de actuar de una manera proporcional al nivel de riesgo y a la precisión con que éste ha sido evaluado.

Así, se establecen las siguientes prioridades de actuación en función del nivel del riesgo, y por lo tanto, de acuerdo a la importancia de la intervención:

- a) Si el riesgo derivado del emplazamiento es **BAJO**, en este caso no resultará necesario adoptar medidas adicionales a las existentes.
- b) Si el riesgo derivado del emplazamiento es **MEDIO**, se deberán adoptar medidas técnicas adicionales de control y seguimiento.
- c) Si el riesgo derivado del emplazamiento es **ALTO o MUY ALTO**, se realizará una propuesta de diseño y ejecución de medidas correctoras para la eliminación o reducción del riesgo, que pueden ser de impermeabilización o de otra índole. En estos casos además, los riesgos residuales deben ser objeto asimismo de un plan de control y seguimiento, que incluirá no sólo el seguimiento de los parámetros claves, sino también la eficacia de los sistemas y las medidas implementadas para su reducción.

La selección de la actuación apropiada en cada caso y su definición concreta son tareas de especialistas, y requieren un nivel de conocimientos y una cantidad de criterios que quedan fuera del ámbito de este manual. Sin embargo, al elaborar este Capítulo se ha considerado conveniente incluir una breve descripción de algunas medidas de control y remediación de la contaminación que pueden aplicarse de manera general en vertederos.

Las medidas que se describen en este Capítulo son las siguientes:

4.8.1 Medidas de control y seguimiento

Implementación de puntos adicionales de control ambiental:

Es posible que se detecte la necesidad de instalar nuevos puntos de control en el caso de aguas subterráneas (nuevos piezómetros de control tanto aguas arriba como aguas abajo), aguas superficiales (nuevos cauces o arroyos a controlar, nuevos puntos de control aguas abajo), lixiviados (fugas detectadas, seguimiento de focos críticos de contaminación), o gases.

Aumento de frecuencia de muestreo:

En ocasiones puede resultar necesario aumentar la frecuencia de muestreo establecida en el Plan de Vigilancia Ambiental de la correspondiente Autorización Ambiental Integrada en el caso concreto de algún compartimento ambiental o parámetro específico identificado como especialmente crítico. En algunos casos la opción más adecuada puede ser la instalación de un control automatizado en continuo con registro de datos.

En el caso de que la instalación no contara con una autorización previa, se propondrá un programa de vigilancia ambiental en base a los riesgos detectados en el Análisis de Riesgos resultante.

Adopción de otras medidas de control adicionales:

En algunos casos será necesaria la instalación de estaciones meteorológicas en el emplazamiento, la realización de controles topográficos para el control de la estabilidad del terreno, el establecimiento de rutinas de control e inspección visual de las instalaciones, etc.

4.8.2 Medidas de reducción y eliminación del riesgo

Sellado superficial

El sellado o cubrimiento superficial se utiliza para minimizar la exposición de la masa de residuos del vertedero al viento, evitar la entrada del agua de lluvia o de escorrentía a ésta y con ello reducir la generación de lixiviados.

En otros casos, se utiliza como barrera física que impide el contacto entre los compuestos tóxicos y los sujetos a proteger, personas, animales, etc. A su vez, la adopción de esta medida permite crear una superficie que pueda soportar vegetación con la consiguiente reducción del impacto visual del vertedero, o ser utilizada para otros usos, siempre y cuando no exista en ellos un riesgo para la salud humana o el medio ambiente. Una cobertura superficial temporal puede también utilizarse para cubrir el residuo mientras se procede a algún tipo de tratamiento.

El sellado superficial es el método más común de remediación de vertederos, porque generalmente es menos caro que otras tecnologías y además puede suponer en algunos casos una gestión eficaz de los riesgos para los seres humanos y el ecosistema asociados a un emplazamiento. Sin embargo, el sellado superficial no reduce la toxicidad de los residuos, la movilidad de los contaminantes, ni su cantidad. Tampoco evita la migración de los contaminantes si el nivel freático alcanza los residuos vertidos. Por todo ello, en la mayor parte de los casos esta técnica deberá ser combinada con otras medidas complementarias.

El sellado es aplicable a todos los vertederos y puede utilizarse cuando la masa de vertido es tan grande que utilizar otro método sería inabordable. Desde el punto de vista de su aplicabilidad, puede ser de dos tipos, temporal o definitivo.

- Sellado temporal: este cubrimiento puede instalarse para minimizar la generación de lixiviados contaminados, mientras se encuentra un mejor remedio o durante la fase en que la masa de vertido se está aún asentando.
- Sellado definitivo: el sellado final puede instalarse una vez estabilizada la masa de vertido, con lo que se reducen los costes de mantenimiento posterior.

Pantallas impermeables

Las pantallas impermeables son barreras verticales que contienen, capturan o dirigen el flujo de aguas subterráneas, o el flujo de lixiviados, en la dirección deseada, con el objetivo de sellar vertical y perimetralmente el vertedero para evitar la entrada de aguas subterráneas limpias en la zona contaminada y evitar así la dispersión de contaminación en profundidad, o desviar el flujo de aguas subterráneas ya contaminadas hacia zonas concretas para su tratamiento o desviarlas lejos de lugares de utilización.

Se utilizan, por ejemplo, para desviar el agua contaminada del agua potable, para desviar el flujo del agua no contaminada lejos de los residuos, o para proporcionar una barrera para el sistema de tratamiento de agua subterránea. Su diseño dependerá de la geología e hidrogeología del emplazamiento, de la agresividad de los contaminantes, de las características geotécnicas del emplazamiento y de los usos del suelo, ya que estas pantallas se componen de materiales y elementos vulnerables a estas condiciones.

Son aplicables en general en cualquier tipo de contaminación. Suelen utilizarse cuando la masa de residuos es muy grande como para realizar un tratamiento y cuando sustancias solubles y móviles suponen una amenaza para un recurso hídrico. Al emplear pantallas impermeables verticales alrededor del terreno contaminado la velocidad de migración del contaminante disminuye, particularmente en acuíferos anisotrópicos y en formaciones con conductividad hidráulica horizontal mucho mayor que la vertical.

Drenaje superficial

Esta medida tiene como objetivo drenar el agua de precipitación sobre el sellado e inmediaciones para evitar la percolación de la misma en los materiales y residuos del vertedero, y reducir la cantidad global de lixiviados generados.

Pueden utilizarse diversos métodos que permitan controlar el flujo y dirección del agua superficial, como canales o zanjas, drenajes y mejoras en la evacuación del agua que cae sobre la cubierta del vertedero.

- Las zanjas o canales se realizan excavando en el suelo natural una zanja perimetral a lo largo de todo el vertedero.
- Los drenajes pueden ser tuberías perforadas que pueden utilizarse para capturar tanto aguas superficiales como subterráneas. Los materiales más adecuados en la fabricación de las tuberías de drenaje son el polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno (PP), cuya resistencia y durabilidad garantizan su uso a largo plazo. Las

tuberías de drenaje se instalan en el interior de una zanja excavada para su colocación y se “rodean” de una capa de relleno granular que facilite la circulación del agua a través de ellas.

- Mejoras en la evacuación del agua que cae sobre la cubierta del vertedero: la vida útil de la cubierta del vertedero puede alargarse mejorando la evacuación del agua de lluvia que cae sobre ella colocando simples medidas, como planchas o cañerías metálicas paralelas a la pendiente de la cubierta.

Sistemas para recoger y evacuar lixiviados

En la mayor parte de los vertederos es habitual encontrar un punto bajo hacia donde se dirige el flujo subterráneo y donde se concentran y pueden captarse los lixiviados generados y extraerse por gravedad. Los sistemas para recoger y evacuar los lixiviados se diseñan para captarlos y dirigirlos hacia un tratamiento adecuado de forma que se minimice el efecto de los contaminantes que contengan sobre el entorno del vertedero. Se instalan habitualmente en vertederos con una impermeabilización inferior, y se sitúan sobre ésta.

Habitualmente estos sistemas se diseñan e instalan en vertederos de nueva construcción, pues para vertederos ya existentes esta configuración es muy costosa. En estos últimos, la alternativa consiste en colocar un sistema de recogida perimetral y, o, pozos verticales de extracción perforados en el propio residuo vertido.

Los sistemas de recolección y evacuación de lixiviados consisten en una red de drenaje formada por tubos laterales o diagonales, localizada bajo la masa de vertido, por encima de la base del vertedero y sobre la impermeabilización exterior de las pendientes laterales del vertedero.

Drenaje y bombeo de aguas subterráneas

Los sistemas de drenaje de aguas subterráneas consisten en una red de tubos enterrados, o de canales, situados a la profundidad por donde discurren las aguas subterráneas, que permiten recogerlas y dirigir las a puntos concretos donde se extraen para su posterior tratamiento. Estos sistemas permiten también modificar el flujo de las aguas subterráneas aún no contaminadas, antes de su paso por la zona de vertido, y dirigir las fuera de ésta para evitar con ello que se contaminen.

También pueden usarse para rebajar el nivel freático en una determinada zona, alejando así el agua subterránea del suelo contaminado situado bajo el vertido. Los drenajes pueden construirse junto con pantallas impermeables, de forma que el drenaje elimina el agua subterránea acumulada frente a la pantalla.

La eficiencia de un sistema de drenaje depende del comportamiento hidrogeológico del terreno. Cuando la hidrogeología de los suelos es compleja, es difícil modelar el flujo de agua subterránea y, en consecuencia, es difícil diseñar adecuadamente los sistemas de drenaje.

Retirada y gestión de residuos

Ante la presencia en el vertedero de residuos o sustancias químicas altamente tóxicas o inflamables, puede ser necesario retirar el material, previa una adecuada caracterización, para su tratamiento o gestión correcta. El objetivo de la medida no es otro que reducir el riesgo o

abaratando las medidas de contención adicionales necesarias para el emplazamiento en cuestión.

El material se excava y transporta a un lugar autorizado para su posterior tratamiento o vertido. Puede ser necesario realizar algún tratamiento previo del material como, por ejemplo, separarlo por tamaños o por tipo de residuos.

Este método es aplicable cuando la masa de residuo constituya una amenaza de primera magnitud para la salud humana, el medio ambiente y/o la integridad del sistema de contención o los residuos puedan atravesar el mismo y liberarse al exterior (residuos en estado líquido o semisólido) y cuando el volumen de residuos justifique su posible retirada.

Estabilización “in situ”

Las tecnologías de estabilización “in situ” difieren de otras tecnologías en que el objetivo es alterar la matriz de suelo, o en su caso de residuos, para reducir o eliminar la migración de los contaminantes. Esto se logra inmovilizando los contaminantes en el medio bien mediante la adición de agentes estabilizantes o bien alterando las propiedades del suelo o de la masa de residuos utilizando medios térmicos o mecánicos.

Las técnicas de estabilización “in situ” más comúnmente utilizadas pueden a su vez clasificarse en tres grandes grupos:

- **Inmovilización:** se refiere a técnicas que permiten unir las sustancias tóxicas a la superficie de partículas sólidas inertes, lo que reduce la movilidad de los contaminantes y, con ello, la toxicidad del residuo.
- **Solidificación:** es el proceso de convertir el residuo en un bloque sólido de gran estabilidad estructural. Puede lograrse mediante dos métodos diferentes: fijación química y encapsulación. En el primero de ellos, se produce una reacción química entre el residuo y una matriz sólida, como un silicato absorbente. En la encapsulación, el agente solidificante rodea a las partículas de residuo. Para ello se utilizan termoplásticos, resinas poliméricas orgánicas, cemento portland, o cal y cenizas volantes.
- **Estabilización:** es el proceso de convertir el residuo en formas estables, que no lixivian sustancias contaminantes, por lo que sirven para limitar la solubilidad o movilidad de los contaminantes. Algunos ejemplos son el ajuste del pH o la digestión, mediante tratamiento biológico, de lodos orgánicos.

En la mayoría de los casos existentes, se utilizan los tratamientos en planta y no “in-situ” debido a la complejidad técnica y de infraestructuras que implican los métodos de estabilización.

Sistema de extracción de gases de vertedero

Los sistemas de extracción de gas de vertedero tienen como objeto la captura del gas producido por la descomposición de los residuos, maximizando la recuperación de gas de vertedero y evitando su migración fuera de las instalaciones.

La migración del gas puede evitarse mediante un recubrimiento o mediante zanjas para la ventilación o la recogida del gas. Para impedir la migración lateral del gas, se pueden poner en

práctica sistemas de control como barreras impermeables, sistemas de ventilación natural o forzada y sistemas híbridos. Las barreras impermeables pueden ser muros de cemento o zanjas rellenas de materiales como arcilla o recubiertas con materiales plásticos. La ventilación natural requiere la colocación de un material grueso (grava) que cree una zona bastante permeable para el gas de manera que éste fluya a esta zona. Un sistema más complejo es la ventilación forzada mediante el bombeo del gas de vertedero a través de un sistema de tuberías. Se ejecuta mediante una red de pozos o zanjas, interconectadas mediante un sistema de tuberías horizontal que cubren toda la superficie del vertedero y se encargan de captar el gas para, posteriormente, llegar a un colector general y de ahí a su posterior tratamiento mediante combustión para evitar cualquier impacto medioambiental. Además, si lo permite el caudal, podrá actuar como fuente de energía eléctrica y calorífica.

Otras técnicas de tratamiento

Además de las técnicas mencionadas hasta ahora, que en general son de contención de la contaminación, existen otras técnicas con diferentes grados de desarrollo y sofisticación, que tienen por objeto tratar de diferentes modos el suelo contaminado, los lodos y las aguas subterráneas contaminadas por efecto de los vertederos o, en ciertos casos, también el propio residuo existente en el vertedero, para reducir su contaminación. Se pueden describir tres grandes tipos:

- **Tratamientos biológicos:** incluyen técnicas que utilizan la capacidad de algunos microorganismos para degradar o eliminar determinados contaminantes, lo que se consigue creando un ambiente favorable para los microorganismos, generalmente añadiendo combinaciones de oxígeno, nutrientes, y agua y controlando la temperatura y el pH.
- **Tratamientos físico-químicos:** son técnicas basadas en procesos físicos o químicos de distinto tipo que utilizan las propiedades físicas o químicas de los contaminantes o del medio para destruir, separar o contener la contaminación.
- **Tratamientos térmicos:** en los cuales la eliminación de los contaminantes tiene lugar debido a la aplicación de elevadas temperaturas.

De forma esquemática, en las siguientes Figuras se muestran ejemplos de algunas de las medidas correctoras descritas.

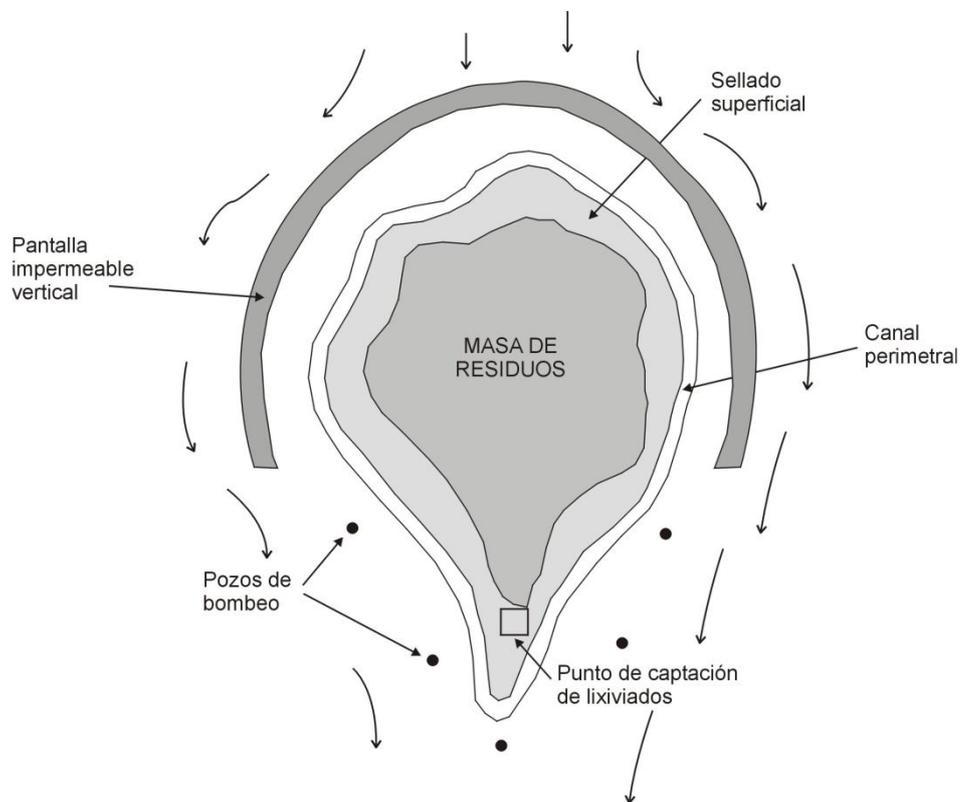


Figura 11. Vista en planta y localización de varias medidas correctoras en un vertedero
(Fuente: adaptado de IHOBE, 2000).

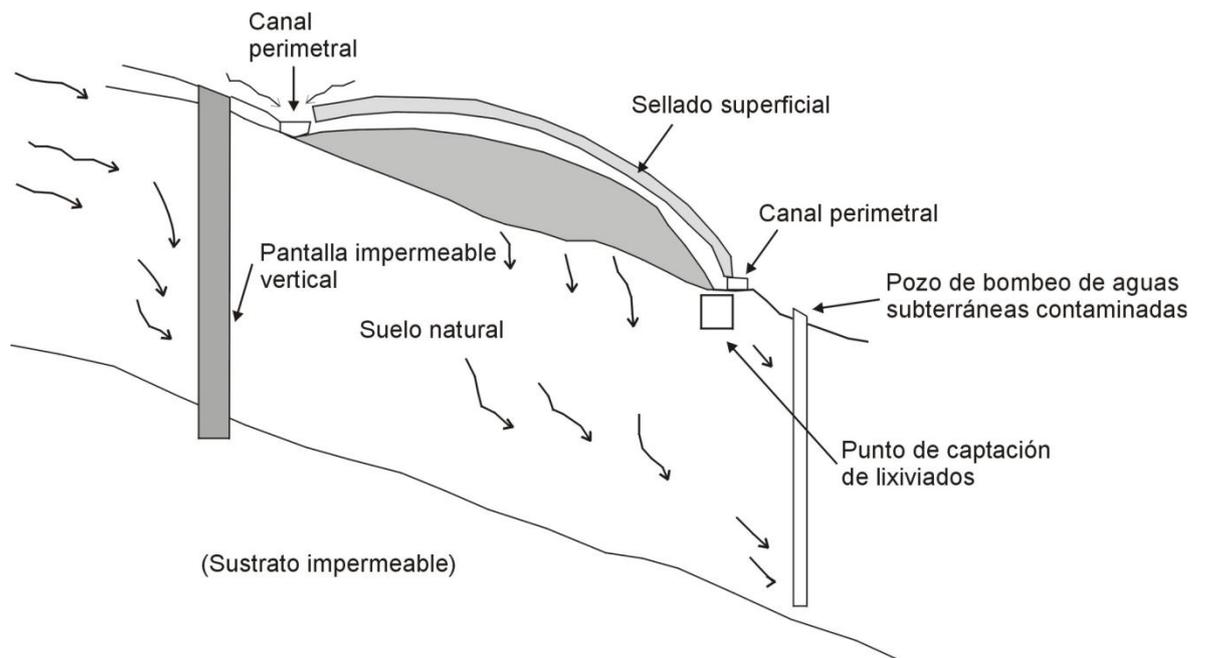


Figura 12. Vista de perfil y localización de varias medidas correctoras en un vertedero
(Fuente: adaptado de IHOBE, 2000).

5 BIBLIOGRAFÍA

- Boroumand et al. (2005): Determination of Compacted Clay Permeability by Artificial Neural Networks. Ninth International Water Technology Conference, IWTC9 2005, Sharm El-Sheikh, Egypt.
- Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS.
- Foster, S. (1987): Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: Van Duijvenbooden W, Van Waegeningh HG (eds) Vulnerability of soil and ground- water to pollutants. Committee on Hydrological Research, The Hague, pp 69–86.
- Cerros, G. (2007): Un enfoque de gestión ambiental del recurso hídrico desde la perspectiva de la vulnerabilidad de acuíferos. Investigación realizada para la Maestría en Gestión del Medio Ambiente de la UCA.
- EVE (1996): Mapa Hidrogeológico del País Vasco (E 1:100.000).
- Directiva 2007/60/CE, de 23 de octubre, de evaluación y gestión de los riesgos de inundación
- Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación
- Ley 4/2015 para la prevención y corrección de la contaminación del suelo
- Decreto 49/2009 por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero y la ejecución de rellenos
- Real Decreto 927/88, de 29 de Julio para la calidad exigida a las aguas superficiales que sean destinadas a la producción de agua potable
- Bengtsson, L. et al (1994): Water balance for landfills of different age. Journal of Hydrology 158, 1994, 203-217.
- FAO (2006): Evapotranspiración de Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Hargreaves, G.H. and Z.A. Samani (1985): Reference crop evapotranspiration from temperature. Transaction of ASAE 1(2):96-99.
- Samani Z.A. and M Pessarakli (1986): "Estimating Potential Crop Evapotranspiration with Minimum Data in Arizona. Transactions of the ASAE, Vol. 29, No. 2, pp.522-524.

- Hargreaves, G.H. and Z.A. Samani, (1985): Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. Transaction of ASAE 1(2):96-99.
- Benítez, C.; Arias, W. & Quiroz, J. (1980): Manual de conservación de suelos y aguas. Ministerio de Agricultura y Alimentación. Lima Benítez, C.; Arias, W. & Quiroz, J.; 1980. Manual de conservación de suelos y aguas. Ministerio de Agricultura y Alimentación. Lima (Perú).
- Lemus, M. & Navarro, G. (2003): Manual para el desarrollo de obras de conservación de suelo. Corporación Forestal Nacional. San Fernando (Chile).
- Martínez de Azagra, F. (2006): Método de los coeficientes de escorrentía: Mauco Generalizado. Documento inédito. 29 p. Universidad de Valladolid.
- Guía Técnica de investigación de la contaminación del suelo- Planes de actuación en vertederos abandonados, IHOBE (2000).
- Guía Metodológica de investigación de la contaminación del suelo- Toma de muestras, IHOBE, (1998).
- Norma UNE 150008:2008 de Análisis y evaluación del riesgo ambiental
- Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental, en el ámbito del Real Decreto 1254/99 (Seveso II), Dirección General de Protección Civil y Emergencias, Ministerio del Interior (2004)
- Fichas Internacionales de Seguridad Química, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

6 ANEXOS

Anexo I. Formulario a completar por los gestores para la elaboración del análisis de riesgos

FICHA 1- DATOS GENERALES

1. DENOMINACIÓN Y CÓDIGO DEL VERTEDERO:					
2. LOCALIZACIÓN	- Territorio histórico - Municipio - Dirección				
3. EXPLOTACIÓN	Tipo de propiedad	Pública		Privada	
	Entidad titular	Razón social	CIF	Domicilio	
	Entidad explotadora	Razón social	CIF	Domicilio	
	Antigüedad de la instalación				
	Situación actual	Activo	Inactivo	Clausurado	
	Tipo de vertedero	Peligrosos		Industrial	
		No peligrosos		Urbanos	
		Inertes		Otros	
	Residuos depositados	Tipo		Código LER	Descripción
	Descripción de proceso de vertido:				
	Personal empleado				
Cantidad total de residuos depositados		Capacidad remanente y vida útil		Cantidad anual a verter	
Plan de explotación, vigilancia y control		Plan de emergencia		Plan de clausura y postclausura	
Cobertura del seguro de responsabilidad civil y fianza					
4. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	Impermeabilización	De fondo	Lateral	Superficial	
	Recogida y canalización de pluviales y escorrentía				
	Recogida de lixiviados		Arqueta de toma de muestras		
	Tratamiento de lixiviados	Descripción		Justificación de dimensionamiento	
	Vertido de lixiviados	A cauce	A colector	Otros	
	Instrumentación de control				
	Instalaciones y servicios	Suministro de agua			
		Maquinaria			
		Accesos y viales			
		Cerramientos			
		Caseta de control			
	Instalación de limpieza de ruedas				
	Otros				
Existencia de celdas clausuradas					
Cubrición temporal		Sellado	Revegetado		

5. ADJUNTOS	Fotografías	Aérea		
		Vista general		
		Otros		
	Planos	Plano geográfico de situación		
		Plano de emplazamiento		
		Plano taquimétrico de planta general con curvas de nivel y detalle de las instalaciones	Estado inicial	
			Estado actual	
			Estado futuro	
		Plano de secciones longitudinales y transversales		
		Detalle de celdas y cubicación de volúmenes		
		Fases de llenado		
		Otros planos		

FICHA 2- DATOS HISTÓRICOS

1. USO PRESENTE DEL EMPLAZAMIENTO	Incidencias	Fecha	Descripción del suceso		Impactos generados		Medidas adoptadas					
2. USOS Y ACTIVIDADES PREVIAS EN EL PROPIO EMPLAZAMIENTO	Actividad	Fecha	Descripción del proceso		Incidencias		Impactos generados		Medidas adoptadas			
3. USOS Y ACTIVIDADES POTENCIALMENTE CONTAMINANTES EN EMPLAZAMIENTOS COLINDANTES	Lugar	Actividad		Fecha	Descripción del proceso		Incidencias		Impactos generados		Medidas adoptadas	

FICHA 3- INVENTARIO AMBIENTAL

ASPECTOS A CONSIDERAR	INFORMACIÓN BÁSICA				
1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA	- Coordenadas (ETRS89) centro vertedero. - Altitud máx. y mín. - Plano de ubicación (escala 1:10.000 o inferior y fecha)*				
2. FAUNA Y VEGETACIÓN	Cubierta vegetal del vertedero	Revegetado No revegetado			
	Breve descripción de la vegetación del entorno:				
	Breve descripción de especies y/o hábitats:				
3. HIDROLOGÍA	Cuenca	Subcuenca:		Zonas protegidas:	
	Mapa de la red de drenaje*				
	Inundabilidad				
	Captaciones	Si	No		
	Distancia al cauce:	adyacente	<100 m	100-200 m	>200 m
	Cauce que atraviesa el vertedero	Si	No		
	Cauce bajo el vertedero	Si	No		
4. GEOLOGÍA	Unidad/es litológica/s	Descripción:			
		Potencia (m):			
		Buzamiento (º) y sentido:			
		Fracturación:			
	Permeabilidad aproximada	Muy permeable	Poco permeable	Impermeable	
	Suelos	Tipo de suelo (F.A.O.):			
		Espesor (m):			
	Morfología	Llanura			
		Ladera			
		Vaguada			
Otros					
Rellenos	Descripción				
	Permeabilidad aproximada	Muy perm.	Poco perm.	Impermeable	
5. HIDROGEOLOGÍA	Tipo de acuífero:	Permeabilidad:	Dirección del flujo de aguas subterráneas:		
	Profundidad del nivel freático:		Vulnerabilidad del acuífero:		
	Esquema hidrogeológico conceptual*				
6. ASPECTOS METEOROLÓGICOS	Precipitación anual:		Lluvia útil:		
7. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS	Pendiente de las laderas:		Inundabilidad:		
	Procesos de inestabilidad:		Afecciones a estructuras existentes:		
	Estabilidad de la masa de vertido:		Erosionabilidad:		
	Factores estructurales:		Tipo de cubrición:	Disponibilidad de materiales:	

* Adjuntos.

FICHA 4- BALANCE HÍDRICO

ASPECTOS A CONSIDERAR	INFORMACIÓN BÁSICA	
1. CONDICIONES DE CONTORNO	Límite temporal:	
	Límite espacial:	
2. CARACTERÍSTICAS DEL VERTEDERO	Sistemas de medida y de recogida de aguas	Canal perimetral:
		Dren de fondo:
		Piezómetros:
		Caudalímetro:
		Otros:
	Impermeabilización	Superficie:
		Fondo:
		Taludes:
	Humedad del residuo:	
3. COMPONENTES DEL BALANCE*	ASPECTOS METEOROLÓGICOS (PARA EL PERÍODO CONSIDERADO)	Estación meteorológica considerada:
		Precipitación (m ³):
		ETP/Método (m ³):
		ETR (m ³):
		Lluvia útil (m ³):
	ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS	Escorrentía (m ³):
		Infiltración (m ³):
4. ENTRADAS Y SALIDAS (MODELO CONCEPTUAL)*		
	$\Delta V = \text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS}$	
5. OTROS	Hidroquímica: Geología:	

* Se incluirán en hoja aparte los cálculos justificativos correspondientes.

* En caso necesario, el modelo conceptual de entradas y salidas se reflejará en una hoja aparte.

FICHA 5- IDENTIFICACIÓN DE CONTAMINANTES Y RUTAS DE DESPLAZAMIENTO

1. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE CONTAMINANTES	Analíticas sobre los lixiviados (fecha y lugar de toma de muestra)					
	Parámetro	Unidades	Análisis de lixiviados	Valor de referencia RD 927/88-A3	Ratio (Análisis de lixiviados/Valor de referencia)	Indicadores seleccionados
	pH	-		5,5-9		
	Conductividad eléctrica	µS/cm		1.000		
	Temperatura	° C		25		
	Arsénico	mg/l		0,1		
	Cadmio	mg/l		0,005		
	Cobre	mg/l		1		
	Cromo	mg/l		0,05		
	Mercurio	mg/l		0,001		
	Níquel	mg/l		0,05*		
	Plomo	mg/l		0,05		
	Zinc	mg/l		5		
	Cianuros	mg/l		0,05		
	Fenoles	mg/l		0,1		
	Aceite mineral	mg/l		1		
	PAH	mg/l		0,001		
	PCB	mg/l		0,005*		
	AOX/EOX	mg/l		0,005*		
	DBO5	mg/l		7		
	DQO	mg/l		30		
	Nitratos	mg/l		50		
	NTK	mg/l		3		
	Amoniaco	mg/l		4		
	Bario	mg/l		1		
	Sólidos en Suspensión	mg/l		25*		
	Cloruros	mg/l		200		
	Fluoruros	mg/l		1,7		
	Fosfatos	mg/l		0,7		
	Otros parámetros					
	Granulometría/descripción física del residuo (pulverulento, ligero, pesado...):					
2. RUTAS DE DESPLAZAMIENTO Y EXPOSICIÓN	MODELO CONCEPTUAL DE RIESGOS, de acuerdo con la Figura 9.			TABLA DE RUTAS DE DESPLAZAMIENTO Y EXPOSICIÓN, de acuerdo con la Tabla 6.		

*Valores orientativos

FICHA 6- DISEÑO Y ESTRATEGIA DE MUESTREO

		Uds.	Trimestre 1 (fecha)			Trimestre 2 (fecha)			Trimestre 3 (fecha)			Trimestre 4 (fecha)														
			Cond. hidrológicas:			Cond. hidrológicas:			Cond. hidrológicas:			Cond. hidrológicas:														
1. LIXIVIADOS	Parámetro		1	2	...	1	2	...	1	2	...	1	2	...												
	Caudal																									
2. SUELO	Parámetro	Uds.	1	2	...	1	2	...	1	2	...	1	2	...												
3. AGUAS SUBTERRÁNEAS	Parámetro	Uds.	A.Arr	A.Ab1	A.Ab2	A.Arr	A.Ab1	A.Ab2	A.Arr	A.Ab1	A.Ab2	A.Arr	A.Ab1	A.Ab2												
4. AGUAS SUPERFICIALES	Parámetro	Uds.	Aguas arr.		Aguas ab.		Aguas arr.		Aguas ab.		Aguas arr.		Aguas ab.													
5. SEDIMENTOS	Parámetro	Uds.	Aguas arr.		Aguas ab.		Aguas arr.		Aguas ab.		Aguas arr.		Aguas ab.													
6. GASES Y PARTÍCULAS	Parámetro	Uds.	1	2	3	4	5	...	1	2	3	4	5	...	1	2	3	4	5	...	1	2	3	4	5	...
	CO	ppm																								
	CO ₂	% vol.																								
	O ₂	% vol.																								
	H ₂ S	ppm																								
	CH ₄	% vol.																								
	Presión	mbar																								
	T ^a	°C																								
	Polvo/residuos en el entorno (s/n)																									

FICHA 7- VALORACIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS

1. VALORACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS	FACTOR	COEF. DE PONDERACION	PUNTUACIÓN SIMPLE (1-10)*	PUNTUACIÓN PONDERADA	ESTIMACIÓN DEL RIESGO
	BLOQUE 1: Riesgos sobre el ecosistema				
	a) Calidad del suelo	3			
	b) Calidad del aire	4			
	c) Calidad de las aguas subterráneas	5			
	d) Calidad de las aguas superficiales	7			
	e) Calidad del sedimento	4			
	f) Flora, fauna y cadena trófica	9			
	g) Geomorfología	1			
	BLOQUE 2. Riesgos sobre la salud humana.				
	a) Exposición a contaminantes tóxicos o cancerígenos	29			
	b) Exposición a malos olores o emisiones de partículas	13			
	c) Exposición a roedores e insectos	4			
	BLOQUE 3. Riesgos derivados de sucesos episódicos				
	a) Eventual impacto sobre el ecosistema	8			
	b) Eventual impacto sobre la salud humana	13			
2. VALORACIÓN GLOBAL DEL RIESGO	Valoración	Σ PUNTUACIÓN PONDERADA		ESTIMACIÓN DEL RIESGO	
	Bloque 1: Riesgos sobre el ecosistema				
	Bloque 2: Riesgos sobre la salud humana				
	Bloque 3: Riesgos derivados de sucesos episódicos				
	VALORACIÓN GLOBAL				

* Se incluirán en hoja aparte la justificación individualizada de las valoraciones.

FICHA 8– PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTORAS

1. PROPUESTA DE MEDIDAS	FACTOR	ESTIMACIÓN DEL RIESGO	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO IDENTIFICADO	PROPUESTA DE MEDIDA DE CONTROL, REDUCCIÓN O ELIMINACIÓN DEL RIESGO*
Bloque 1: Riesgos sobre el ecosistema				
Bloque 2: Riesgos sobre la salud humana				
Bloque 3: Riesgos derivados de sucesos episódicos				

* Se incluirán en hoja aparte planos, esquemas, memorias y demás documentación necesaria para complementar la información.

Anexo II. Sistema unificado SUCS de clasificación de suelos

Divisiones principales		Simbolo del grupo	Nombre clásico	Método de identificación en campo excluyendo partículas mayores de 75 mm		
1	2	3	4	5		
Suelos de grano grueso Más de la mitad del material es mayor que el t. n°200	GRAVAS Más de la mitad de los gruesos es > 5mm Para clasificación visual el tamiz n°4 equivale a 5 mm	Gravas limpias (poco ó ningún fino)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino	Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos	
		Gravas limpias (poco ó ningún fino)	GP	Gravas pobremente graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino	Predomina un tamaño ó una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios	
		Gravas con finos (apreciable cantidad)	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	Finos no plásticos ó con baja plasticidad (para procedimiento de identificación ver grupo ML)	
			GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	Finos plásticos (para procedimiento de identificación ver grupo CL)	
		Arenas limpias (poco ó ningún fino)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, poco ó ningún fino	Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos	
			SP	Arenas pobremente graduadas, arenas con grava, poco ó ningún fino	Predomina un tamaño ó una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios	
	Arenas con finos (apreciable cantidad)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	Finos no plásticos ó con baja plasticidad (para procedimiento de identificación ver grupo ML)		
		SC	Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla	Finos plásticos (para procedimiento de identificación ver grupo CL)		
	Suelos de grano fino Más de la mitad del material es menor que el t. n°200	El tamaño del tamiz n°200 es aproximadamente la menor partícula visible a simple vista			Método de identificación en la fracción menor de tamiz n°40 (0.4 mm)	
					Resistencia a la rotura	Dilatancia
ML			Limos inorgánicos de baja compresibilidad	Ninguna a ligera	Rápida a lenta	Ninguna
CL			Arcillas inorgánicas de baja a media compresibilidad arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas	Media a alta	Ninguna a muy lenta	Media
OL			Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja compresibilidad	Ligera a media	Lenta	Ligera
MH			Limos inorgánicos de alta compresibilidad	Ligera a media	Lenta a ninguna	Ligera a media
CH			Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad	Alta a muy alta	Ninguna	Alta
OH	Arcillas y limos orgánicos de media a alta compresibilidad.	Media a alta	Ninguna a muy lenta	Ligera a media		
Suelos altamente orgánicos		Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	Fácilmente identificable por el color, olor, tacto esponjoso y a menudo textura fibrosa		

Anexo III. Tabla de Radiación Solar Extraterrestre (Ro)

TABLA: RADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE

Lat °	HEMISFERIO NORTE Ra en MJ · m ⁻² · día ⁻¹											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Norte												
0.0	36.1	37.6	38.0	36.8	34.8	33.4	33.8	35.5	37.1	37.4	36.5	35.7
2.0	35.3	37.1	37.9	37.1	35.4	34.2	34.5	36.0	37.2	37.1	35.8	34.8
4.0	34.5	36.6	37.7	37.4	36.0	34.9	35.2	36.4	37.3	36.8	35.1	33.9
6.0	33.6	36.0	37.5	37.6	36.6	35.6	35.8	36.8	37.3	36.4	34.3	33.0
8.0	32.7	35.4	37.3	37.8	37.1	36.3	36.4	37.2	37.2	35.9	33.5	32.1
10.0	31.8	34.7	37.0	38.0	37.5	36.9	37.0	37.5	37.1	35.4	32.7	31.1
12.0	30.9	34.0	36.7	38.0	38.0	37.5	37.6	37.8	37.0	34.9	31.8	30.1
14.0	29.9	33.3	36.3	38.1	38.4	38.1	38.0	38.0	36.8	34.3	30.9	29.0
16.0	28.9	32.5	35.8	38.1	38.7	38.6	38.5	38.2	36.6	33.7	30.0	27.9
18.0	27.8	31.7	35.4	38.1	39.0	39.1	38.9	38.3	36.4	33.0	29.1	26.9
20.0	26.7	30.8	34.8	38.0	39.3	39.5	39.3	38.4	36.0	32.3	28.1	25.7
22.0	25.6	29.9	34.3	37.8	39.5	39.9	39.6	38.4	35.7	31.6	27.0	24.6
24.0	24.5	29.0	33.7	37.7	39.7	40.3	39.9	38.5	35.3	30.8	26.0	23.4
26.0	23.4	28.1	33.0	37.4	39.8	40.6	40.2	38.4	34.9	30.0	24.9	22.3
28.0	22.2	27.1	32.4	37.2	39.9	40.9	40.4	38.3	34.4	29.2	23.8	21.1
30.0	21.1	26.1	31.6	36.9	40.0	41.1	40.6	38.2	33.9	28.3	22.7	19.8
32.0	19.9	25.0	30.9	36.5	40.0	41.3	40.7	38.1	33.3	27.4	21.6	18.6
34.0	18.7	24.0	30.1	36.1	39.9	41.5	40.8	37.9	32.7	26.4	20.4	17.4
36.0	17.4	22.9	29.3	35.7	39.9	41.7	40.9	37.6	32.0	25.5	19.2	16.2
37.0	16.8	22.3	28.8	35.4	39.8	41.7	40.9	37.5	31.7	25.0	18.7	15.5
38.0	16.2	21.7	28.4	35.2	39.8	41.7	40.9	37.3	31.4	24.5	18.1	14.9
39.0	15.6	21.2	27.9	34.9	39.7	41.8	40.9	37.2	31.0	24.0	17.5	14.3
40.0	15.0	20.6	27.5	34.7	39.6	41.8	40.9	37.0	30.6	23.4	16.9	13.7
41.0	14.4	20.0	27.0	34.4	39.5	41.8	40.9	36.8	30.3	22.9	16.3	13.1
42.0	13.8	19.5	26.6	34.1	39.4	41.8	40.8	36.6	29.9	22.4	15.7	12.4
43.0	13.2	18.9	26.1	33.8	39.3	41.8	40.8	36.4	29.5	21.9	15.1	11.8
45.0	11.9	17.7	25.1	33.2	39.1	41.8	40.7	36.0	28.7	20.8	13.8	10.6
46.0	11.3	17.1	24.6	32.9	39.0	41.8	40.6	35.8	28.3	20.2	13.2	10.0
47.0	10.7	16.5	24.1	32.6	38.8	41.8	40.6	35.6	27.8	19.6	12.6	9.4
48.0	10.1	15.9	23.6	32.2	38.7	41.8	40.5	35.3	27.4	19.1	12.0	8.8
49.0	9.5	15.3	23.0	31.9	38.5	41.7	40.4	35.1	27.0	18.5	11.4	8.2
50.0	8.9	14.7	22.5	31.5	38.4	41.7	40.3	34.8	26.5	17.9	10.8	7.6
60.0	3.3	8.5	16.8	27.5	36.5	41.2	39.3	31.9	21.6	12.0	4.9	2.2