



MINISTERIO PARA LA TRANSICION
ECOLOGICA Y EL RETO DEMOGRAFICO

SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO
AMBIENTE

DIRECCION GENERAL DE
CALIDAD Y EVALUACIÓN AMBIENTAL

Subdirección General de Economía
Circular

**GUÍA METODOLÓGICA PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS
SOBRE LA ADECUACIÓN DE LA UBICACIÓN NATURAL DE UN
PROYECTO DE VERTEDERO DE RESIDUOS (Anexo I del RD 646/2020,
de 7 de julio).**

Diciembre 2023



ÍNDICE DEL DOCUMENTO

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETO.....	3
II. ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA OCURRENCIA DE TERREMOTOS EN EL EMPLAZAMIENTO NATURAL DE LOS VERTEDEROS.....	4
III. ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LAS INUNDACIONES FLUVIALES EN EL EMPLAZAMIENTO NATURAL DE LOS VERTEDEROS.....	11
IV. ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO EN EL EMPLAZAMIENTO NATURAL DE LOS VERTEDEROS.....	17
V. ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE AFECCIÓN A LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL EMPLAZAMIENTO NATURAL DE LOS VERTEDEROS.....	22
VI. ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE AFECCIÓN AL PATRIMONIO GEOLÓGICO DEL EMPLAZAMIENTO NATURAL DE LOS VERTEDEROS.....	24
VII. ESTRUCTURA DE LA DOCUMENTACIÓN A PRESENTAR POR EL PROMOTOR DEL VERTEDERO.	27



I. INTRODUCCIÓN Y OBJETO.

El apartado 1 del Anexo I del Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, establece que la ubicación propuesta para los vertederos queda sujeta a un informe preceptivo del Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC).

En julio de 2023, el MITERD publicó una [nota aclaratoria](#) relativa al alcance de dicho informe, haciendo constar que se trata de un análisis de la susceptibilidad espacial del estado natural y preoperativo del emplazamiento del vertedero, esto es, sin entrar a considerar el impacto ambiental relacionado con las operaciones de vertido de residuos una vez los vertederos hayan sido autorizados. Los aspectos considerados en los informes serán los siguientes: contexto hidrogeológico, patrimonio geológico, terremotos, inundaciones fluviales y movimientos del terreno.

El presente documento recopila unas guías metodológicas que tienen por objeto orientar los trabajos y estudios preliminares a realizar por los promotores para determinar la adecuación del emplazamiento del vertedero, así como homogeneizar la estructura y contenido de dichos estudios, que serán posteriormente objeto de informe preceptivo (no vinculante) por parte del IGME-CSIC (IGME en adelante).

Los apartados II a VI de esta guía recogen, separadamente para cada uno de los aspectos arriba señalados, las fuentes de información disponibles y los métodos de evaluación de dicha información, así como la documentación mínima a aportar por el promotor del vertedero.

En el apartado VII se recoge una propuesta de la estructura del estudio y documentación mínima que deberá aportar el promotor para analizar la idoneidad del emplazamiento del vertedero.



II. ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA OCURRENCIA DE TERREMOTOS EN EL EMPLAZAMIENTO NATURAL DE LOS VERTEDEROS.

1. Alcance.

El objeto del estudio consiste en una valoración cualitativa de la susceptibilidad espacial del emplazamiento natural del vertedero por terremotos, entendida como la posibilidad física de que el emplazamiento propuesto para el vertedero quede afectado por la ocurrencia de terremotos de origen tectónico o volcánico, y expresada de forma cualitativa en base al conjunto de factores condicionantes del proceso sísmico.

2. Metodología.

El estudio se abordará en dos fases: I) valoración preliminar de la susceptibilidad basada en la documentación/información existente; II) valoración de la susceptibilidad final basada en trabajos de campo y gabinete. El procedimiento se describe con detalle en los siguientes apartados.

2.1. FASE I: valoración preliminar de la susceptibilidad en base a la información existente.

El objetivo de esta fase del estudio es identificar fallas activas e indicadores de posible actividad tectónica cuaternaria en el emplazamiento del vertedero y su entorno, a partir del análisis de las bases de datos y cartografías existentes en organismos públicos y centros de investigación, tanto de ámbito nacional como regional y local. Los resultados se plasmarán en una cartografía a escala 1:25.000 y con el emplazamiento del vertedero centrado en el mapa. En función de los elementos identificados, se hará una valoración preliminar y cualitativa de la susceptibilidad espacial. El estudio se acompañará también de una memoria descriptiva.

2.1.1. Fuentes de información.

a) IGN (Instituto Geográfico Nacional).

- [Mapas topográficos, Datos LIDAR, Modelo Digitales de Elevaciones \(MDE\), fotos e imágenes aéreas, etc., del territorio español disponibles en el Centro de Descargas del IGN.](#)
- [Catálogo de terremotos del IGN.](#)
- [Información sísmica en general del IGN.](#)
- [Vigilancia volcánica del IGN.](#)

b) IGME.

- [QAFI](#) - Base de Datos de Fallas del Cuaternario de la Península Ibérica. Base de datos de fallas con evidencias geológicas de actividad demostrada durante el periodo Cuaternario (los últimos 2.6 millones de años, según el límite establecido oficialmente por la SQS en 2009). QAFI no es una base de datos completa de todas las fallas con actividad durante el Cuaternario, sino un



repositorio de fallas activas que se actualiza sobre la base de la literatura científica disponible. Por ello, QAFI no debe sustituir a los estudios de detalle para la identificación y caracterización puntual de fuentes sismogénicas en la zona objeto de estudio; únicamente debe considerarse como una herramienta orientativa.

- [Catálogo de los efectos geológicos de los terremotos en España](#) (2019; 2ª edición).
- [ZESIS](#) - Zonación Sismogénica de Iberia. ZESIS es una base de datos de zonas sismogénicas de la Península Ibérica y territorios de influencia, desarrollada para el cálculo de la actualización del mapa de peligrosidad sísmica de España (IGN-UPM, 2013).
- [Mapa Neotectónico de España a escala 1:1.000.000.](#)
- [Mapa neotectónico, sismotectónico y de actividad de fallas de la región de Murcia, escalas 1:200.000 y 1:100.000.](#)
- [GEODE](#). Cartografía geológica digital continua a escala 1:50.000 ([visor](#)).
- MAGNA. Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 ([3ª Serie](#), [2ª Serie](#)).
- [Mapa Geológico Digital de Cantabria a escala 1:25.000.](#)
- [Mapa Geomorfológico de España a escala 1: 50.000](#) y [Mapas Geomorfológico y de Procesos Activos a escala 1:50.000 \(3ª Serie\)](#).

c) **Información de Comunidades Autónomas y Entidades Locales.**

Las Comunidades Autónomas y Entidades Locales cuentan con información topográfica y cartografías temáticas a escalas de mayor detalle que la información espacial disponible en el IGN o en el IGME. En este sentido, algunas Comunidades Autónomas tienen disponibles cartografías geotemáticas (geológica, geomorfológica, de procesos activos, de riesgos geológicos, etc.) a escala 1:25.000. Algunos ejemplos son [Navarra](#), [País Vasco](#), [Cantabria](#) o [Cataluña](#). [Además de información espacial relacionada con la geología, las Comunidades Autónomas y Entidades Locales pueden disponer de datos topográficos, por ejemplo, LIDAR, así como imágenes aéreas y de satélite con diversos niveles de actualización y resolución. Toda esta información se encuentra recogida en el Geoportal de la Infraestructura de Datos Espaciales de España.](#)

2.1.2. Cartografía recopilatoria de información documental.

Los datos obtenidos en consulta documental se representarán en una cartografía a escala 1:25.000. La superficie de mapa será la correspondiente a una hoja topográfica 1:25.000, es decir, aproximadamente 10 km de latitud x 17 km de longitud, cuyo centro será el emplazamiento natural del vertedero objeto de estudio.

La base topográfica será la del IGN. La base geológica será la del IGME (GEODE/MAGNA) o la de la Comunidad Autónoma correspondiente, distinguiendo simplemente los materiales del periodo neotectónico (Cuaternario 2.6 m.a) y los pre-neotectónicos (previos al Cuaternario). Dentro de los materiales neotectónicos, los distintos tipos de depósitos se distinguirán mediante tramas.



Para la identificación de fallas activas en el emplazamiento del vertedero y su entorno, se deben consultar y analizar bases de datos, inventarios, cartografías, visores, publicaciones científicas, tesis doctorales, informes previos, prensa, archivos locales, encuestas a la población, así como cualquier otra información disponible sobre la zona y la temática.

En este mapa se representarán todos aquellos elementos que estén dentro del área del mapa y que se obtengan de las fuentes anteriormente citadas:

- Fallas activas en el Cuaternario (QAFI).
- Tramos de fallas que afectan a materiales del periodo neotectónico (MAGNA/GEODE/Geomorfológicos del IGME y de las CC.AA.).
- Epicentros históricos e instrumentales con $M \geq 4.0$ Mw (catálogo de terremotos del IGN).
- Elementos indicadores de actividad neotectónica presentes en el Mapa Neotectónico de España 1:1.000.000 (IGME).
- Cartografías procedentes de tesis doctorales, publicaciones, informes previos, etc.

Este mapa incluirá, asimismo, un esquema del contexto geotectónico de área de estudio a escala 1:100.000 (tipo esquema regional del MAGNA) en el que se representarán las fallas activas existentes en QAFI y los epicentros con Magnitud Momento o equivalente $M \geq 4.0$ Mw.

2.1.3. Valoración cualitativa preliminar de la susceptibilidad.

El análisis de la información previamente descrita permite identificar aquellos elementos y factores indicadores de actividad sismotectónica cuaternaria. En función de estos indicadores, se hará una valoración preliminar y cualitativa de la susceptibilidad espacial. Para ello se hace un contaje de los elementos y factores identificados, tal y como se muestra en la Tabla 1.

*Nota importante: el grado de susceptibilidad se otorgará igualmente, aunque solo se cumpla uno de los requisitos de las casillas correspondientes; no es necesario que se cumplan los tres criterios.

<i>Grado de Susceptibilidad</i>	<i>Fallas activas</i>	<i>Terremotos previos Magnitud ≥ 4.0 (Mw o similar)</i>	<i>Elementos indicadores de actividad neotectónica (Mapa Neotectónico de España 1:1.000.000)</i>
ALTA	Se identifique, al menos, una falla activa	Se identifique, al menos, un terremoto	2 o más elementos
MEDIA	1 falla activa (probable/no catalogada)	0	1 elemento
BAJA	0	0	0

Tabla 1: Valoración preliminar y cualitativa de la susceptibilidad.

La susceptibilidad preliminar se clasificará en tres grupos:

- Susceptibilidad preliminar ALTA: 1) si en el área de estudio existe una falla activa durante el Cuaternario catalogada (QAFI); o 2) un epicentro $M \geq 4.0$ (Mw o similar); o 3) si aparecen, al menos, dos elementos indicadores de actividad neotectónica.
- Susceptibilidad preliminar MEDIA: 1) si en el área de estudio existe una falla con probable actividad cuaternaria catalogada (QAFI) o no catalogada (edad no probada o afectando a sedimentos cuaternarios), o 2) un único elemento indicador de actividad neotectónica.



- Susceptibilidad preliminar BAJA: no se identifican elementos indicadores de actividad cuaternaria.

2.2. FASE II: análisis de la susceptibilidad basada en trabajos de campo y gabinete.

El objetivo de esta fase de caracterización de la susceptibilidad espacial por terremotos es completar y mejorar, mediante trabajos de campo y gabinete, la caracterización realizada en la Fase I preliminar. La necesidad de estos trabajos tiene especial importancia en aquellos emplazamientos ubicados en zonas previamente caracterizadas como de susceptibilidad media y baja, ya que la caracterización de la FASE I se basa en documentos que reflejan estudios a escala muy pequeña ~1:1.000.000. Con esta escala de tan escaso detalle, se corre el riesgo de obviar elementos indicadores de actividad neotectónica que puedan existir y que sí se pueden identificar mediante estudios más detallados. En cuanto a las zonas de susceptibilidad preliminar alta, los estudios de campo y gabinete permitirán caracterizar con mayor detalle los procesos de deformación que serán de utilidad durante las etapas constructivas del vertedero, y que tampoco quedan reflejados en la caracterización preliminar por motivos de escala.

2.2.1. Cartografía.

Partiendo del mapa de caracterización preliminar, se completará este mediante un exhaustivo trabajo de campo y de gabinete, tanto en el propio emplazamiento del vertedero como en su entorno. Para ello, se deben realizar una serie de mapas temáticos que incluyan todos los elementos identificados que hayan sido provocados por movimientos sísmicos durante el periodo Cuaternario (2,6 m.a. - la actualidad):

- Mapa morfotectónico. Escala 1:25.000. A partir del análisis del mapa de caracterización preliminar, de las fotografías aéreas de distintos años y del modelo digital de elevaciones (MDE), se identificarán posibles anomalías geomorfológicas en gabinete, que posteriormente serán confirmadas o descartadas en los trabajos de campo. Se decidirá, por tanto, si dichas anomalías pueden o no ser indicadoras de actividad tectónica cuaternaria y si es posible atribuirles a una estructura aflorante o ciega. Algunas de las anomalías a identificar son: basculamientos y escalones en terrazas fluviales, asimetrías en el desarrollo de terrazas fluviales en valles, encajamientos rectilíneos de la red fluvial, desvíos anómalos de la red fluvial, escarpes en superficies de erosión, basculamientos en superficies de erosión, presencia de facetas triangulares en escarpes montañosos, edificios volcánicos cuaternarios, abanicos aluviales coalescentes, edificios travertínicos, hidrotermalismo, volcanes de fango, grandes bloques desprendidos, anomalías en espeleotemas, paleodeslizamientos, etc.
- Mapa de lineamientos a escala 1:25.000, realizado a partir de fotografía aérea, ortoimágenes de satélite y MDEs, así como de sus productos derivados (mapa de sombras, mapa de pendientes, etc.), distinguiendo los lineamientos que afectan a materiales cuaternarios y a materiales pre-neotectónicos (Plioceno).
- Mapa inventario 1:25.000 de estructuras tectónicas y elementos identificados que afectan a materiales y formas cuaternarias. La cobertura espacial de este mapa será el de una hoja completa 1:25.000 (aproximadamente 10 km de latitud x 17 km de longitud), con el vertedero centrado en el mapa y bien identificado. Debe incluir, asimismo, un esquema regional morfotectónico a escala 1:100.000. La cartografía estará disponible en formato vectorial compatible (*shapefile*). El mapa será claro, conciso y de fácil interpretación y debe incluir una leyenda de los elementos representados. En este documento se representarán todos los elementos geomorfológicos indicadores de actividad neotectónica procedentes de los trabajos de campo,



gabinete y documentos previos consultados, fallas y pliegues (fallas ciegas) que afecten a materiales y/o formas cuaternarias, así como estructuras y lineamientos que, aunque no afecten a materiales cuaternarios, indiquen actividad desde el Plioceno. Como apoyo, también se proyectarán los terremotos históricos e instrumentales con $M \geq 4.0$ Mw (catálogo de terremotos del IGN), así como eventos arqueosísmicos y paleosísmicos procedentes de la literatura científica. El objetivo de este mapa es relacionar los elementos morfológicos indicadores de actividad cuaternaria, así como los terremotos de $M \geq 4.0$ Mw con algún lineamiento o estructura identificada a partir del análisis geomorfológico de gabinete (análisis del mapa preliminar, fotografía aérea, MDEs, etc.) y los trabajos de campo.

Todos los elementos y estructuras identificadas en este documento relatarán la historia geológica cuaternaria de la zona y se considerarán susceptibles de haber sido provocados por movimientos sísmicos. Consecuentemente, serán susceptibles también de provocar terremotos en un futuro.

A continuación, en la Figura 1 se muestra una leyenda orientativa del mapa final que se obtenga, aunando la Fase I y la Fase II, y que cumplimentará esta etapa cartográfica.

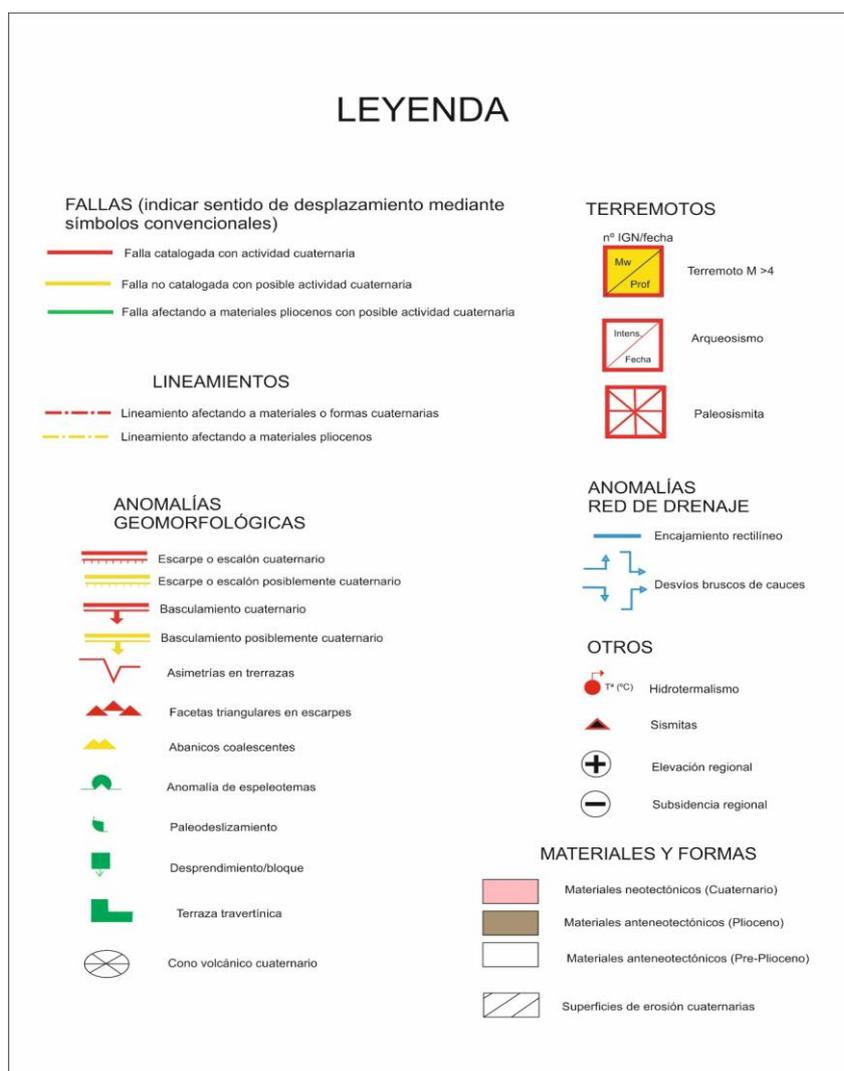


Figura 1. Propuesta de leyenda para el mapa final que aúna la Fase I y la Fase II.



2.2.2. Valoración cualitativa de la susceptibilidad.

Con el objetivo de hacer la valoración cualitativa de la susceptibilidad, se hace la ponderación de los distintos elementos, estructuras y circunstancias que se recogen en el mapa inventario. Se hará el conteo de elementos y estructuras (n_i , n_j , n_k) identificadas en la zona de estudio y se le dará un peso (P_i , P_j , P_k), según los criterios que se explican en la Tabla 2.

<i>Estructuras con actividad cuaternaria *</i> ($P_i=3$)	<i>Sismicidad instrumental o histórica **</i> ($P_j=2$)	<i>Cualquier estructura con sismicidad asociada $M \geq 4.0$ Mw</i> *** ($P_k=1$)	$(P_i*n_i)+(P_j*n_j)+(P_k*n_k)$
$n_i=$	$n_j=$	$n_k=$	Grado de susceptibilidad

Tabla 2. Contaje ponderado de estructuras y eventos sísmicos.

* $P_i=3$. Presencia de estructuras y lineamientos que afectan a materiales o formas cuaternarias, con edad fiable.

** $P_j=2$. Existencia de sismicidad instrumental o histórica (con ubicación fiable, según el catálogo de terremotos del IGN) $M \geq 4.0$ Mw;

*** $P_k=1$ Presencia de cualquier tipo de estructura que tenga, al menos un terremoto histórico/arqueosísmico/instrumental de $M \geq 4.0$ Mw asociado, aunque tenga ubicación poco precisa (rango de incertidumbre menor de 5 km).

El resultado obtenido dará lugar a una evaluación cualitativa y final de la susceptibilidad del emplazamiento (Tabla 3).

SUSCEPTIBILIDAD	$(P_i*n_i)+(P_j*n_j)+(P_k*n_k)$
Alta	≥ 3
Media	$= 2$
Baja	≤ 1

Tabla 3. Tabla para la evaluación cualitativa y final de la susceptibilidad del emplazamiento.

3. Recomendaciones, a escala de detalle, para la etapa de diseño.

Tras determinar cualitativamente la susceptibilidad espacial por terremotos del emplazamiento, se considera de interés general caracterizar el efecto de sitio, y muy especialmente en aquellos emplazamientos donde se ha obtenido un grado de susceptibilidad alta. En este sentido, se hace una serie de recomendaciones que pueden ser de utilidad para la fase posterior de diseño del vertedero, aunque no sean objeto de este informe:

- Previsión del movimiento fuerte y otros efectos al paso de las ondas sísmicas en el emplazamiento del vertedero. Como complemento a la susceptibilidad espacial, se considera de interés para el diseño de infraestructuras la previsión de la intensidad de la sacudida sísmica en el recinto del vertedero. Esta valoración debe realizarse a través del [mapa de peligrosidad sísmica oficial de España](#), que puede consultarse en la web del organismo responsable, el Instituto Geográfico Nacional. Este mapa expresa la peligrosidad sísmica en términos de aceleración. Refiere un valor de aceleración máxima horizontal en cada punto de España, para un terreno tipo roca y con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, esto es, para un periodo de retorno de 475 años. Se trata de una aceleración de referencia que variará en cada punto del territorio español según el tipo de terreno que lo conforme. Conocer bien las características y la estructura de los materiales que constituyen el emplazamiento del vertedero, así como la presencia de agua en ellos (niveles freáticos), es fundamental para prever procesos de



licuefacción/densificación o inestabilidad de laderas en el emplazamiento del vertedero tras la ocurrencia de un terremoto.

- Mapa litoestructural del entorno inmediato al emplazamiento del vertedero (vertedero centrado). Debe representar las diferentes unidades litológicas del emplazamiento del vertedero y las estructuras tectónicas que afectan a materiales cuaternarios (estructuras derivadas del mapa inventario ponderado a escala 1:25.000). Se aconseja utilizar la Escala 1:5.000 o 1:10.000, dependiendo del tamaño del vertedero. Este mapa debe diferenciar unidades rocosas de los depósitos no consolidados, así como caracterizar el grado de fracturación, cementación, compactación, firmeza, densidad, cohesión, porosidad, etc., según corresponda.
- Dos cortes geológicos perpendiculares entre sí, con el emplazamiento del vertedero centrado, que incluyan la información de los dos mapas anteriores.

Si en los cortes se observan estructuras o elementos que se han ponderado con peso 3, 2 o 1 en la evaluación de la susceptibilidad (Tabla 2), y que afectan a sedimentos porosos no consolidados (por ejemplo, arenas flojas), con el nivel freático a menos de 10 m de profundidad, se deberán hacer calicatas y/o sondeos con el fin de prever posibles procesos de licuefacción/densificación.

Si en el Mapa lito-estructural del entorno inmediato del vertedero aparecen posibles estructuras activas en el Cuaternario (estructuras de peso 2 o 1 en Tabla 2), se deberá realizar un estudio adicional para comprobar si se trata de una falla activa. Este estudio, de tipo paleosismológico y/o arqueosismológico, estará centrado en la determinación del grado de actividad de la falla e idealmente apoyado en métodos de datación geocronológica y numéricos.

4. Bibliografía recomendada:

[Guía del usuario de la base de datos ZESIS \(versión septiembre 2015\). Acceder a descargas en la web de ZESIS.](#)

Guía metodológica orientativa para el análisis de la susceptibilidad a los movimientos del terreno del emplazamiento natural de los vertederos (MITERD).

[Guía para el uso de QAFI v.4. Acceder a *downloads* en la web de QAFI.](#)

Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (ICOG) (2008). *Riesgos naturales. Guía metodológica para la elaboración de cartografías en España*. 163 p. [Mapas de Orientación al vertido de residuos sólidos urbanos \(RSU\) a escala 1:50.000.](#)

[Mapa Geotécnico General a escala 1:200.000](#) y [Mapa Geotécnico y de Riesgos Geológicos de varias ciudades a escalas 1:25.000 y 1:5000](#), así como el [Mapa Geotécnico de Ordenación Territorial y Urbana a escala 1:100.000.](#)

Mapa Hidrogeológico de España a escala [1:200.000](#) y [1:50.000](#).

[Memoria del Mapa Neotectónico y Sismotectónico de España \(IGME-ENRESA, 1998\). Acceder a *downloads* en la web de QAFI. En el visor web de QAFI se pueden visualizar las fallas cuaternarias de este mapa.](#)

MOVES: Base de Datos de Movimientos del Terreno del IGME-CSIC ([BD Moves](#)).

[Servicio de Información Geocientífica del IGME.](#)

Proyecto Prior (2006). Determinación de fallas de Primer Orden mediante el análisis integrado de datos geológicos. Consejo de Seguridad Nuclear. Colección Documentos I+D. 15, 2006.

[The Contribution of Palaeoseismology to Seismic Hazard Assessment in Site Evaluation for Nuclear Installations IAEA-TECDOC-1767.](#)



III. ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LAS INUNDACIONES FLUVIALES EN EL EMPLAZAMIENTO NATURAL DE LOS VERTEDEROS.

1. Conceptos principales.

1.1. Inundaciones fluviales.

Este apartado de la guía se centra en las inundaciones asociadas a los anegamientos terrestres asociados a las corrientes fluviales *sensu lato*, desde la escorrentía concentrada en las laderas y vertientes, a los torrentes, barrancos, arroyos, ramblas, rieras y ríos.

No se contemplarán otros tipos de inundaciones de origen no fluvial, tales como: las litorales o costeras de océanos, mares y lagos; las no vinculadas con la red hidrográfica en zonas llanas o endorreicas; las producidas por ascenso de la superficie freática sobre la superficie del terreno; las artificiales de sistemas de drenaje urbano o por rotura o inadecuada operación de almacenamientos (embalses, balsas...) o conducciones (acueductos, tuberías, colectores...); las fluviales inducidas o alteradas por causas antrópicas. Ver al respecto las clasificaciones de las inundaciones en Díez Herrero et al. (2008) y Díez Herrero y Rodríguez (2016).

Como referencia oficial de la existencia de una corriente fluvial se considerarán, como mínimo, todos los elementos de la red fluvial representada en el Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Nacional (MNT25) y sus bases de datos georreferenciadas asociadas: <http://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/CBG%20-%20MTN25.pdf>

Para la evaluación de las inundaciones fluviales se incluirán todos aquellos fenómenos, procesos y acciones naturales que pueden ser consecuencia de ellas. En particular, se considerarán, como mínimo y siempre que proceda, los siguientes aspectos:

- Anegamiento de cauces durante avenidas y crecidas: comprende la ocupación de sectores del cauce, márgenes y riberas por aumentos súbitos o lentos del caudal circulante o de la altura de lámina de agua.
- Desbordamiento de corrientes fluviales: ocupando sectores de la llanura de inundación y riberas, bien en conexión con la corriente o debido a cambios en el patrón y trazado por ensanchamiento, incisión, extensiones, traslaciones, rotaciones, bifurcaciones o avulsiones del canal o cauce fluvial.
- Acciones fluviales asociadas a la inundación: concentración de erosión, transporte o sedimentación-deposición de materiales detríticos (inorgánicos u orgánicos) asociados a la inundación.
- Procesos geológicos asociados a la inundación: otros procesos que derivan de la inundación (durante o después del anegamiento), como movimientos del terreno en las márgenes (escarpes de bancos de orilla) y riberas, reactivación de la karstificación, expansividad de arcillas, sufusión subsuperficial (*piping*), etc.

No se contemplará las inundaciones causadas por actividades antrópicas, estén o no asociadas al proyecto del vertedero, ni aquellas en las que intervengan de modo directo los drenajes artificiales, las canalizaciones o cualesquiera otras alteraciones al medio natural.

1.2. Susceptibilidad espacial.

Se entenderá como la posibilidad física de que el emplazamiento propuesto para el vertedero (o su propuesta de modificación o las ampliaciones proyectadas) quede afectado por cualquier tipo de



inundación fluvial o por alguno/varios de los fenómenos, procesos o acciones naturales especificados en el subapartado anterior. La susceptibilidad espacial a las inundaciones se expresará en términos cualitativos.

2. Metodología.

2.1. Fuentes de información.

El promotor deberá realizar un análisis de información previa existente sobre la ubicación del vertedero y su entorno, incluyendo la cuenca hidrográfica completa drenante a ese lugar. Esta información puede incluir bases de datos, inventarios, cartografías, imágenes, visores, publicaciones científicas, informes, prensa, archivos locales, encuestas a la población, así como cualquier otra información disponible sobre la zona y la temática. Destacar si existe algún trabajo académico inédito (tesis doctoral, trabajo fin de máster, trabajo fin de carrera o grado, etc.) sobre la temática en el entorno del vertedero.

La no identificación del área como zona inundable en la documentación existente, ya sea por ausencia de zona inundable en el SNCZI (Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables) u otras ausencias u omisiones, no es, ni puede ser en ningún caso, prueba válida de la ausencia de inundación. Sin embargo, si el emplazamiento está identificado como zona inundable por algún estudio o cartografía previa, y el promotor considera que no es así, deberá demostrarlo en el estudio que presente aportando mejoras a los datos y los métodos y procedimientos de la delineación mencionada.

Se adjuntan algunos enlaces de consulta:

- Información online, libre y gratuita del IGME-CSIC (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades) y otros organismos de la AGE.

- Libro impreso y digital “[Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones: guía metodológica para su elaboración. Guía metodológica para su elaboración](#)”.
- [Mapas de Orientación al vertido de residuos sólidos urbanos \(RSU\) a escala 1:50.000.](#)
- [GEODE](#): Cartografía geológica digital continua a escala 1:50.000.
<http://info.igme.es/visor/>
- [Mapas geomorfológicos a escala 1:50.000](#) y [mapas geomorfológicos y de procesos activos a escala 1:50.000.](#)
- [Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables \(SNCZI\).](#)
- Libro impreso y digital “[Guía metodológica para el desarrollo del SNCZI](#)”:
- [Descargas del SNCZI.](#)
- [Mapa de caudales máximos en régimen natural \(CAUMAX\).](#)
- [Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas \(CNIH\).](#)
- [Centro de descargas del IGN.](#)



- Información de otras instituciones y entidades. Información facilitada *online* por otros organismos de Ministerios, CCAA, Diputaciones, Cabildos, Consells, Ayuntamientos, Concejos, etc. Se muestra como ejemplo de información autonómica de utilidad, la que ofrece el *Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya* (ICGC) sobre la temàtica en su web:

- [Cartografía de riesgos geológicos \(Mapa para la prevención de riesgos geológicos de Cataluña\).](#)
- [GeoÍndex Riesgos geológicos.](#)
- [Bases de datos.](#)
- [Cartografía geológica.](#)
- [Datos LiDAR, modelos digitales de elevaciones y mapas de pendientes.](#)
- [Fotografías aéreas y ortoimágenes con diversos niveles de actualización y de resolución.](#)
- [Connector QGIS “Open ICGC.](#)

2.2. Trabajo de campo y realización del mapa inventario de evidencias de inundaciones pretéritas y zonas susceptibles de inundación.

El trabajo de campo ha de ser de carácter experto y lo más exhaustivo posible, tanto en el propio emplazamiento del vertedero como en su entorno, así como en la cuenca hidrográfica-hidrológica de la corriente o corrientes fluviales implicadas en la inundabilidad, y debe contemplar:

- La identificación ‘*in situ*’ de los procesos naturales, actuales y antiguos, de las diferentes acciones, procesos y fenómenos asociados a la inundación. Para ello es muy importante apoyarse en el análisis en gabinete previo interpretativo estereoscópico de las fotografías aéreas verticales de la zona, tomando como punto de partida el denominado ‘vuelo americano’ de 1955-1956 (siempre que esté disponible y adecuado), y otras anteriores y posteriores a escalas detalladas; y finalizando por ortoimágenes recientes.
- La identificación de los rasgos geológicos/geomorfológicos asociados a la inundación que dejaron una impronta en el paisaje: marcas erosivas en el lecho, márgenes y llanura de inundación; depósitos de desbordamiento, barras, diques naturales, lóbulos de derrame, cintas arenosas y zonas encharcadas; depósitos de elementos flotantes naturales y artificiales; meandros abandonados, canales de crecida y puntos de avulsión, etc. Ver inventario y clasificación detallada con ejemplos en los apartados 5.2 (Observaciones en el cauce) y 5.3 (Observaciones en las márgenes) de la guía metodológica del SNCZI (Sánchez y Lastra, 2011).

Es muy recomendable en este apartado consultar a los habitantes y vecinos de las cercanías, así como a los ayuntamientos del municipio donde se ubica el vertedero, para identificar posibles efectos de inundaciones previas y zonas problemáticas con daños.

Este trabajo de campo debe permitir hacer un primer diagnóstico de la posible incidencia de las inundaciones en el emplazamiento del vertedero y su entorno, así como valorar la necesidad de trabajos complementarios en campo (p.e. trincheras en depósitos de paleoinundación, estudios geofísicos de los depósitos, batimetrías de zonas de incisión, etc.) y laboratorio.



El trabajo de campo dará lugar a un mapa inventario de evidencias de inundaciones pretéritas, que debe realizarse teniendo en cuenta también la documentación previamente consultada. Debe mostrar la situación exacta y la extensión de las acciones, procesos y fenómenos que tienen lugar, ya sean antiguos o recientes, activos o inactivos, así como los principales rasgos geológicos/geomorfológicos identificados (facetas, elementos y unidades geomorfológicas). La leyenda debe incluir la tipología de los procesos identificados, así como los rasgos geomorfológicos relacionados (Suárez et al., 2005). Ver al respecto el apartado 5.4 (Representación cartográfica) de la guía metodológica del SNCZI.

La escala del mapa inventario debe ser igual o superior (más detallado) a 1:5.000, con el vertedero centrado en el mapa y bien identificado; considerando un tramo suficientemente representativo de la corriente fluvial aguas arriba y aguas abajo. Debe estar disponible en formatos GIS o compatibles con ArcGIS y su impresión no superará el formato DIN-A3. El mapa debe ser legible, claro, conciso y de fácil interpretación y debe incluir una leyenda de los elementos representados.

Este mapa inventario se puede contrastar con la información que ofrece el Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas o con noticias de medios de comunicación locales, para determinar si alguna de las evidencias inventariadas muestra actividad reciente y se corresponde con una inundación contemporánea.

2.3. Análisis de la inundabilidad.

El análisis de la inundabilidad o susceptibilidad a ser inundado el territorio en el que se ubica el vertedero se deberá hacer combinando e integrando los tres grandes grupos de fuentes de información y metodologías de análisis:

Métodos hidrológicos-hidráulicos:

- Estudio hidrológico: empleando bien el análisis estadístico de caudales con funciones de distribución de valores extremos a partir de series de caudales de aforo representativas del tramo fluvial; o bien fórmulas y modelos de transformación precipitación-escurrimiento. Se tendrán en cuenta los escenarios e incertidumbres asociados al cambio global, tanto climático como de ocupación, usos y gestión del suelo. Ver al respecto el capítulo 3 de la guía metodológica del SNCZI (Sánchez y Lastra, 2011).
- Estudio hidráulico: empleando fórmulas y modelos numéricos de transformación de los caudales circulantes en alturas de lámina de agua, velocidades, zonas inundables, calados, energía, etc. Ver al respecto el capítulo 7 de la guía metodológica del SNCZI (Sánchez y Lastra, 2011).

Métodos histórico-documentales: empleando la información documental de archivos, hemerotecas, fotografías, videgrabaciones, testimonios orales, etc. para reconstruir la extensión y magnitud de inundaciones previas. Ver al respecto el capítulo 4 de la guía metodológica del SNCZI (Sánchez y Lastra, 2011).

Métodos geológicos y geomorfológicos: que permite transformar el mapa inventario de evidencias de inundaciones pretéritas en un mapa de susceptibilidad de inundación; y la detección de todas las acciones (erosión, transporte, depósito, etc.) y fenómenos geológicos asociados a la inundación. Ver al respecto el apartado 6.3 de la guía metodológica del SNCZI (Sánchez y Lastra, 2011).



De forma adicional, únicamente si existe información publicada disponible o se ha localizado en los trabajos de campo, se incluirán los análisis por *métodos paleohidrológicos*, tanto de geomorfología y sedimentología de formas y depósitos de paleoinundaciones, como de dendrocronología y liquenometría de evidencias botánicas. Ver al respecto en la bibliografía recomendada el apartado 2.3 de la guía metodológica del IGME (Díez Herrero et al., 2008).

Dado que se trata de un estudio de susceptibilidad espacial y no temporal (peligrosidad), para el cálculo hidrometeorológico (transformación de la precipitación-escorrentía) o hidrológico (análisis estadístico de caudales máximos) de los caudales de crecida o avenida, los periodos de retorno se usarán únicamente con carácter orientativo (según apartado 1 del artículo 14 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico -RDPH-, modificado por el Real Decreto 638/2016). Los periodos de retorno no son determinantes de la inundabilidad; por ello, se tratará de superar este concepto probabilístico con criterios determinísticos y empíricos (Díez Herrero, 2021), como los geomorfológicos, incluidos en el citado artículo del RDPH.

Para el análisis hidrológico-hidráulico de la inundabilidad, se considera imprescindible, pero no suficiente, la consulta de la cartografía preexistente del SNCZI. La ausencia de delineación de zona inundable en el SNCZI no es prueba de ausencia de inundación, ya que esta cartografía no abarca la totalidad de la red fluvial. Al contrario, la presencia de una delineación de zona inundable debe considerarse válida o demostrarse equivocada por medio de estudios similares que permitan refutar adecuadamente la delineación del SNCZI. Por lo tanto, para mayor seguridad en el proyecto de diseño del vertedero, se deberá requerir un estudio hidrológico-hidráulico específico, que quedaría fuera del alcance del informe del CN IGME CSIC.

En este sentido, para el análisis hidrológico no será suficiente la consulta del mapa de caudales máximos (CAUMAX) orientativos, sino que se hará una estimación específica de los caudales a la escala y detalle requeridos por el informe del vertedero. También se tendrán en consideración -en la estimación de caudales- las posibles afecciones de los escenarios del cambio climático y global, siguiendo las indicaciones del MITERD (Sánchez y Aparicio, 2018).

De igual manera, para el estudio hidráulico se tendrá en consideración la posibilidad de cambios en la geometría del cauce, tanto por erosión o sedimentación (lecho móvil), como por avulsiones o cambios bruscos del canal. Asimismo, se considerará el transporte y deposición de sedimento característico del cauce y sus márgenes. Esta apreciación es de especial relevancia en ámbitos con presencia de abanicos aluviales, conos de deyección, derrubios de ladera, áreas con meandros abandonados y en general allí donde las evidencias de campo pongan de relieve la posibilidad de tales cambios en la ubicación del lecho fluvial.

2.4. Análisis de la susceptibilidad espacial a las inundaciones fluviales.

Se realizará una integración de los resultados de inundabilidad para cada sector del territorio circundante a la ubicación del vertedero, a partir de la superposición en un sistema de información geográfica de los resultados de la aplicación de los análisis realizados. De la superposición cartográfica de la inundabilidad, primando los valores más altos, se delimitará -para cada sector- una susceptibilidad cualitativa en tres clases: alta, media y baja. El producto resultante será un mapa de susceptibilidad a la inundación, a la misma escala que los anteriores (1:5.000 o más detallado), y con tres colores: rojo (susceptibilidad alta), naranja (susceptibilidad media) y amarillo (susceptibilidad baja).

Una vez elaborado el/los mapa/s de susceptibilidad, estos se analizarán con detalle, poniendo especial énfasis en la situación que se encuentra el emplazamiento del vertedero.



3. Bibliografía recomendada.

Díez-Herrero, A.; Lain-Huerta, L. y Llorente-Isidro, M. (2008). *Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie Riesgos Geológicos/Geotecnia nº 1, 190 págs., Madrid. DOI: 10.5281/zenodo.4309868.

Díez-Herrero, A. y García Rodríguez, M. (2016). Riesgos por avenidas e inundaciones. En: Lario, J. y Bardají, T. (Coords.), *Introducción a los Riesgos Geológicos*, 119-152. Editorial UNED, Madrid, 313 pp.

Díez Herrero, A. (2021). Propuesta para superar el paradigma del periodo de retorno en el análisis y mitigación de los riesgos por inundaciones en ríos. En: Thomsen, A., Farinós, J. y Perero, E. (Coords.), *Soluciones ante los riesgos climáticos en ríos y costas, Informes Conama sobre la defensa del medio natural*, CT30, 4.2.7, pp. 165-173. Edita: Fundación Conama, Madrid, 287 pp.

Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (ICOG) (2008). *Riesgos naturales. Guía metodológica para la elaboración de cartografías en España*. 163 p.

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) (2017). *Criteris per a la realització de l'Estudi d'Identificació de Riscos Geològics (ERG)*. 7 p.

Sánchez, F.J. y Lastra, J. (Coords.) (2011). *Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Madrid, 349 pp.

Sánchez Martínez, F.J. y Aparicio Martín, M. (Coord.) (2018). *Inundaciones y cambio climático*. Ministerio para la Transición Ecológica, Madrid, 105 pp.

Suárez Rodríguez, A., Nozal Martín, F., Salazar Rincón, A. y Martín Serrano, A. (2005). *Mapa geomorfológico de España escala 1:50.000. Guía para su elaboración*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 128 pp.



IV. ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO EN EL EMPLAZAMIENTO NATURAL DE LOS VERTEDEROS.

1. Conceptos principales.

1.1. Movimientos del terreno a considerar.

Incluyen todos aquellos procesos naturales que pueden generar desplazamientos del terreno de diversas características, magnitudes y velocidades. Se considerarán los siguientes:

- Movimientos de ladera (no taludes): deslizamientos, flujos, desprendimientos rocosos y avalanchas rocosas. Ver clasificación y características en Cruden & Varnes (1996).
- Colapsos/hundimientos kársticos en litologías solubles como calizas y yesos, principalmente.
- Levantamientos y hundimientos por la presencia de arcillas expansivas, litologías que pueden generar variaciones volumétricas en el terreno.

No se contemplará la subsidencia del terreno causada por actividades antrópicas relacionadas con la extracción de fluidos del subsuelo (zonas mineras, acuíferos intensamente explotados, etc.), ya que su origen no es natural y queda fuera del alcance del informe.

1.2. Susceptibilidad espacial.

Se entenderá como la posibilidad física de que el emplazamiento propuesto para el vertedero quede afectado por cualquier tipo de los movimientos del terreno especificados en el subapartado anterior, o bien por varios de ellos. Se expresará exclusivamente en términos cualitativos.

2. Metodología.

2.1. Fuentes de información.

Incluye bases de datos, inventarios, cartografías, fotointerpretación, visores, publicaciones científicas, informes previos, prensa, archivos locales, encuestas a la población, así como cualquier otra información disponible sobre la zona y la temática.

Se adjuntan algunos enlaces de consulta:

- Información *online*, libre y gratuita, del IGME-CSIC y del IGN.

- [Mapas de Orientación al vertido de residuos sólidos urbanos \(RSU\) a escala 1:50.000.](#)
- [GEODE](#): Cartografía geológica digital continua a escala 1:50.000. <http://info.igme.es/visor/>
- [Mapas geotécnicos a escala 1:200.000](#) y de [diversas ciudades a escalas 1:25.000 y 1:5000](#), así como el [Mapa geotécnico de ordenación territorial y urbana a escala 1:100.000](#).
- [Mapas geomorfológicos a escala 1: 50.000](#) y [mapas geomorfológicos y de procesos activos a escala 1:50.000](#).



- [MOVES: Base de Datos de Movimientos del Terreno del IGME-CSIC \(BD Moves\).](#)
[Centro de descargas del IGN.](#)

-Información de otras instituciones.

Información facilitada *online* por las diferentes CCAA, Diputaciones, Cabildos, Consells, Ayuntamientos, etc. Se muestra como ejemplo la información que ofrece el *Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya* (ICGC) sobre la temática:

- Cartografía de riesgos geológicos ([Mapa para la prevención de riesgos geológicos de Cataluña](#)).
- [GeoÍndex Riesgos geológicos](#).
- [Bases de datos](#).
- [Cartografía geológica](#).
- [Datos lidar, modelos digitales de elevaciones y mapas de pendientes](#).
- [Fotografías aéreas y ortoimágenes con diversos niveles de actualización y de resolución](#).
- [Connector QGIS "Open ICGC"](#).

-Programa Copernicus de la UE:

- [EGMS](#) (*European Ground Motion Service*) basado en el análisis InSAR de las imágenes rádar obtenidas por los satélites Sentinel-1. Permite identificar -con limitaciones- zonas con deformaciones del terreno en el periodo monitorizado, así como las velocidades de desplazamiento y su evolución en el tiempo. El EGMS puede ofrecer una visión de zonas con actividad en el emplazamiento del vertedero y su entorno. Cabe destacar que el EGMS únicamente detecta movimientos lentos y según la orientación de la ladera.

2.2. Trabajo de campo y realización del mapa inventario de movimientos del terreno.

El trabajo de campo ha de ser exhaustivo, tanto en el propio emplazamiento del vertedero como en su entorno, y debe contemplar:

- La identificación de los procesos naturales, actuales y antiguos, de las diferentes tipologías de movimientos del terreno. Para ello es muy importante apoyarse en el análisis previo interpretativo de las fotografías aéreas de la zona, tomando como punto de partida el [Vuelo Americano de 1956](#).
- La identificación de los rasgos geológicos/geomorfológicos asociados que dejan una impronta en el paisaje: grietas, escarpes, cicatrices de desprendimientos, formas erosivas, hundimientos, depósitos, lóbulos, bloques desprendidos, indicios en la vegetación, impactos de bloques, modificaciones en el sistema natural de drenaje, posición del nivel freático, interrupciones estratigráficas y estructurales del terreno, etc.



Es muy recomendable en este apartado consultar a los ayuntamientos del municipio donde se ubica el vertedero para identificar posibles problemas previos.

Este trabajo de campo debe permitir hacer un primer diagnóstico de la posible incidencia de los movimientos del terreno en el emplazamiento del vertedero y su entorno, así como valorar la necesidad de trabajos complementarios en campo (ejem. estaciones geomecánicas, estudios de geofísica, sondeos, calicatas, etc.) y en laboratorio (ejem. ensayos geotécnicos).

El **mapa inventario** de movimientos del terreno debe realizarse teniendo en cuenta el trabajo de campo llevado a cabo, con el apoyo de la documentación previamente consultada. Debe mostrar la situación exacta y la extensión de los procesos que tienen lugar, antiguos o recientes, activos o inactivos, así como los principales rasgos geológicos/geomorfológicos identificados. La leyenda debe incluir la tipología de los procesos identificados, así como los rasgos geomorfológicos relacionados.

La escala del mapa inventario debe ser 1:10.000 o de mayor detalle, con el vertedero centrado en el mapa y bien identificado. Debe estar disponible en formatos GIS o compatibles con ARCGIS y su impresión no superará el formato DIN A3. El mapa debe ser claro, conciso y de fácil interpretación y debe incluir una leyenda de los elementos representados.

2.3. Mapas de los factores condicionantes.

Según los procesos identificados, se realizarán una serie de cartografías temáticas de los factores que condicionan los movimientos del terreno. Todos ellos se realizarán a la misma escala y extensión que el mapa inventario (1:10.000 o de mayor detalle) y, como mínimo, serán los siguientes:

- Mapa de pendientes, con una clasificación sencilla acorde a las características de cada caso, del tipo: bajas (<10°); medias (10°-30°) y altas (>30°).
- Mapa litológico que incluya también las principales estructuras geológicas (fallas principalmente). Se pueden establecer grandes grupos litológicos según el comportamiento geomecánico de los materiales aflorantes, del tipo (véase bibliografía recomendada):
 - Rocas duras y moderadamente duras con fracturación.
 - Rocas blandas o rocas muy alteradas.
 - Rocas solubles (calizas y yesos, principalmente) en el caso de identificar procesos kársticos.
 - Suelos o materiales con comportamiento tipo suelo; suelos colapsables y/o licuables.
 - Arcillas expansivas.
- Mapa hidrogeológico, donde quede bien representada la red de drenaje, los manantiales y las surgencias, las zonas húmedas, los sumideros de naturaleza kárstica y, si es posible, la posición del nivel freático.



2.4. Análisis de la susceptibilidad.

El análisis de susceptibilidad se realizará siempre y cuando se den una de estas dos circunstancias:

- Se hayan identificado movimientos naturales del terreno en la zona, ya sean una o varias tipologías de movimientos.
- No se hayan identificado movimientos naturales del terreno, pero el análisis de los factores condicionantes ofrece un escenario proclive a que pueda haberlos en un futuro: pendientes elevadas, materiales muy alterados o con comportamiento de suelos, macizos rocosos muy fracturados, presencia de arcillas expansivas, etc.

Una vez identificados correctamente los procesos y su ubicación en el mapa inventario, se llevará a cabo su superposición con el resto de los mapas de factores condicionantes para determinar el peso de estos últimos en los procesos de inestabilidad. Este análisis preliminar debe hacerse de manera independiente para cada una de las tipologías de movimientos del terreno identificadas (si las hay). Por ejemplo, para los colapsos y hundimientos kársticos, así como para los procesos generados por la presencia de arcillas expansivas, los factores de mayor peso serán la litología y la hidrogeología (por ese orden), y no tanto las pendientes. Para los movimientos de ladera, las pendientes será un factor clave, junto con las litologías aflorantes y la hidrogeología. Los criterios para otorgar pesos a los factores condicionantes deben estar basados en el conocimiento del fenómeno y del terreno.

Una vez ponderado el peso de cada factor condicionante para cada tipo de movimiento, se llevará a cabo una superposición (SIG) de los mapas obtenidos, clasificando el territorio según la suma de los pesos. Se realizará así una clasificación cualitativa de la susceptibilidad, del tipo alta, media y baja. El producto resultante será un mapa de susceptibilidad para cada proceso, a la misma escala que los anteriores (1:5.000 o de mayor detalle), y con colores tipo semáforo: rojo (susceptibilidad alta), amarillo (susceptibilidad media) y verde (susceptibilidad baja).

En la Figura 1, se muestra un ejemplo sencillo de la obtención del grado de susceptibilidad para los desprendimientos rocosos, considerando los dos parámetros más determinantes: la litología y la pendiente.

	Rocas duras y moderadamente duras con fracturación	Rocas blandas o rocas muy alteradas	Materiales con comportamiento tipo suelo
Pendientes bajas (<10°)	Susceptibilidad MEDIA	Susceptibilidad BAJA	Susceptibilidad BAJA
Pendientes medias (10°-30°)	Susceptibilidad ALTA	Susceptibilidad MEDIA	Susceptibilidad BAJA
Pendientes altas (>30°)	Susceptibilidad ALTA	Susceptibilidad ALTA	Susceptibilidad MEDIA

Figura 1. Ejemplo simplificado para la obtención del valor de la susceptibilidad a los desprendimientos rocosos.

Una vez elaborado el/los mapa/s de susceptibilidad, estos se analizarán con detalle, poniendo especial énfasis en la situación que se encuentra el emplazamiento del vertedero.



3. Bibliografía recomendada.

Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996). Landslide Types and Processes, Special Report, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 247:36-75.

Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (ICOG) (2008). Riesgos naturales. Guía metodológica para la elaboración de cartografías en España. 163 p.

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) (2017). Criteris per a la realització de l'Estudi d'Identificació de Riscos Geològics (ERG). 7 p.

González de Vallejo, LI., Ferrer, M., Otuño, L., Oteo, C. (2002) Ingeniería geológica. Luis I. González de Vallejo (Coord.). Editorial Prentice Hall. 715 p.



V. ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE AFECCIÓN A LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL EMPLAZAMIENTO NATURAL DE LOS VERTEDEROS.

1. Conceptos principales.

El objeto de los estudios hidrogeológicos es la determinación de las características hidrogeológicas del área propuesta para la ubicación del vertedero, al objeto de garantizar que las instalaciones de vertido reúnen condiciones que impidan afecciones significativas a las aguas subterráneas y de hacer previsión de las posibles consecuencias en caso de fallo en la impermeabilización lateral y/o de fondo de los vertederos.

En tal sentido, los estudios hidrogeológicos determinarán: las formaciones acuíferas y de baja permeabilidad existentes, las masas de agua subterránea, y los niveles acuíferos dentro de estas, que puedan ser potencialmente afectadas y sus parámetros hidráulicos; además, contendrán un esquema básico de flujo (dirección y gradiente hidráulico).

1.1. Análisis de la susceptibilidad

A partir de la definición de un modelo hidrogeológico conceptual del área de estudio y de un escenario previsible de dispersividades en caso de accidente, se determinarán las áreas susceptibles de ser afectadas por procesos contaminantes que, en fase de proyecto, servirán para definir una red piezométrica y de calidad de vigilancia y control (densidad, situación de los piezómetros y características constructivas de éstos).

2. Metodología.

2.1. Fuentes de información.

Incluye bases de datos hidrogeológicas (IGME-CSIC, confederaciones hidrográficas, diputaciones, etc.), cartografías (básicamente geológica e hidrogeológica), zonas de protección ambiental, publicaciones científicas, informes previos, prensa, archivos locales, encuestas a la población, así como cualquier otra información disponible sobre la zona y la temática.

Se adjuntan algunos enlaces de consulta:

Cartografía hidrogeológica: acceso al [mapa hidrogeológico de España a escala 1:200.000](#).

Base de Datos Aguas del CN IGME-CSIC: permite consultar los puntos acuíferos inventariados en la Base de Datos Aguas del CN IGME-CSIC, así como sus características hidrogeológicas y los datos temporales asociados.

Mapas de Orientación al vertido de residuos sólidos urbanos (RSU) a escala 1:50.000.

GEODE: Cartografía geológica digital continua a escala 1:50.000.



2.2. Determinación del área potencialmente afectada por una posible contaminación.

Se deberá cartografiar el área potencialmente susceptible de ser afectada por una contaminación y definir un sistema de vigilancia y control de esta, aun en el caso en que se demostrase la inocuidad para el medio físico.

Como parte del sistema de vigilancia y control para la detección de posibles procesos contaminantes, se deberá establecer, al menos, un punto de control ubicado aguas arriba del vertedero y dos puntos de control aguas abajo del mismo, en función de las direcciones de flujo establecidas en el estudio.

2.3. Criterios que justifican la inocuidad del vertedero en relación a las aguas subterráneas.

A partir de los datos contenidos en el informe geológico e hidrogeológico, el peticionario deberá determinar en qué criterios se basa para demostrar que no existe riesgo de contaminación a las aguas subterráneas y cómo será el sistema de seguimiento y control que garantice que se cumplen estas premisas.

3. Bibliografía recomendada.

European Council, 1996, Council Directive 96/61/EC of 24 September 1996 concerning Integrated pollution prevention and control, Official Journal L 257, 10/10/1996, 0026 – 0040.

López Gutiérrez J.; Ballesteros Navarro B.J.; García Menéndez O. y Grima Olmedo J. 2002. Metodología para la elaboración de los estudios hidrogeológicos requeridos en la tramitación de permisos de vertidos de aguas residuales. Resúmenes del XI Congreso Internacional de Industria, Minería y Metalurgia. Zaragoza. 2002. 42-43 p. Colegio de Minas del Norte. Asociación Nacional de Ingenieros de Minas de España. Barcelona. 560 pp.

Rodríguez de Sancho, M.J., 2000, La prevención y el control integrados de la contaminación. En: La aplicación de la Directiva Marco del Agua en España. Retos y oportunidades. Ed. Instituto Internacional de Derecho y Medio Ambiente. Madrid-Barcelona. 167-183.



VI. ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE AFECCIÓN AL PATRIMONIO GEOLÓGICO DEL EMPLAZAMIENTO NATURAL DE LOS VERTEDEROS.

1. Conceptos principales.

1.1. Patrimonio geológico.

El patrimonio geológico, según la ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, se define como: *el conjunto de recursos naturales geológicos de valor científico, cultural y/o educativo, ya sean formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, minerales, rocas, meteoritos, fósiles, suelos y otras manifestaciones geológicas que permiten conocer, estudiar e interpretar: a) el origen y evolución de la Tierra, b) los procesos que la han modelado, c) los climas y paisajes del pasado y presente y d) el origen y evolución de la vida.*

1.2. Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG).

El IELIG es un inventario de patrimonio geológico sistemático de reconocimiento avanzado (García-Cortés et al., 2019), que está diseñado metodológicamente para cubrir todo el territorio español e identificar los LIG de relevancia nacional e internacional de cada uno de los dominios geológicos del país. El Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG) es uno de los inventarios oficiales incluidos en la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, y su desarrollo legislativo en el Real Decreto 556/2011 para el desarrollo del inventario nacional del patrimonio natural y la biodiversidad. El Plan Estratégico del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad 2011-2017 encomendó al IGME el desarrollo de la metodología del IELIG y la coordinación de las actividades de inventario junto con las Comunidades Autónomas, en cumplimiento del Objetivo 2.8 «Incrementar los conocimientos sobre geodiversidad y patrimonio geológico y aumentar su protección».

En el nuevo RD 1057/2022, de 27 de diciembre, por el que se aprueba el Plan estratégico estatal del patrimonio natural y de la biodiversidad a 2030, el IELIG queda incluido en el Sistema nacional de generación, seguimiento y gobernanza del conocimiento sobre el patrimonio natural y la biodiversidad en España.

El inventario tiene una información cartográfica digital, con geometría de polígonos o puntos, y una base de datos asociada. El Sistema Gestor de la Base de Datos que utiliza para almacenar y gestionar la base de datos es Microsoft SQL Server. A fecha de 2023, contiene información de 4548 LIG, que incluye los 264 *Geosites* de relevancia internacional para España y otros LIG de relevancia local en fase de valoración. Se pueden consultar todos los LIG, salvo algunos de interés principal paleontológico o mineralógico, que por motivos de conservación y protección no se ofrece su ubicación exacta ni sus datos.

Algunas CCAA han contribuido al IELIG con sus inventarios oficiales, tales como: Andalucía, Cataluña, País Vasco, Aragón y Región de Murcia. Otras CCAA como Canarias y La Rioja, también han contribuido, pero sin oficializar su inventario.

1.3. Lugar de Interés Geológico (LIG).

El contenido del IELIG son los Lugares de Interés Geológico (LIG) con límites geográficos bien definidos por su valor científico, didáctico y/o turístico que tienen un carácter único o representativo, para



el estudio e interpretación del origen y evolución de los grandes dominios geológicos españoles, incluyendo los procesos que los han modelado, los climas del pasado y su evolución paleobiológica.

2. Metodología.

2.1. Fuentes de información.

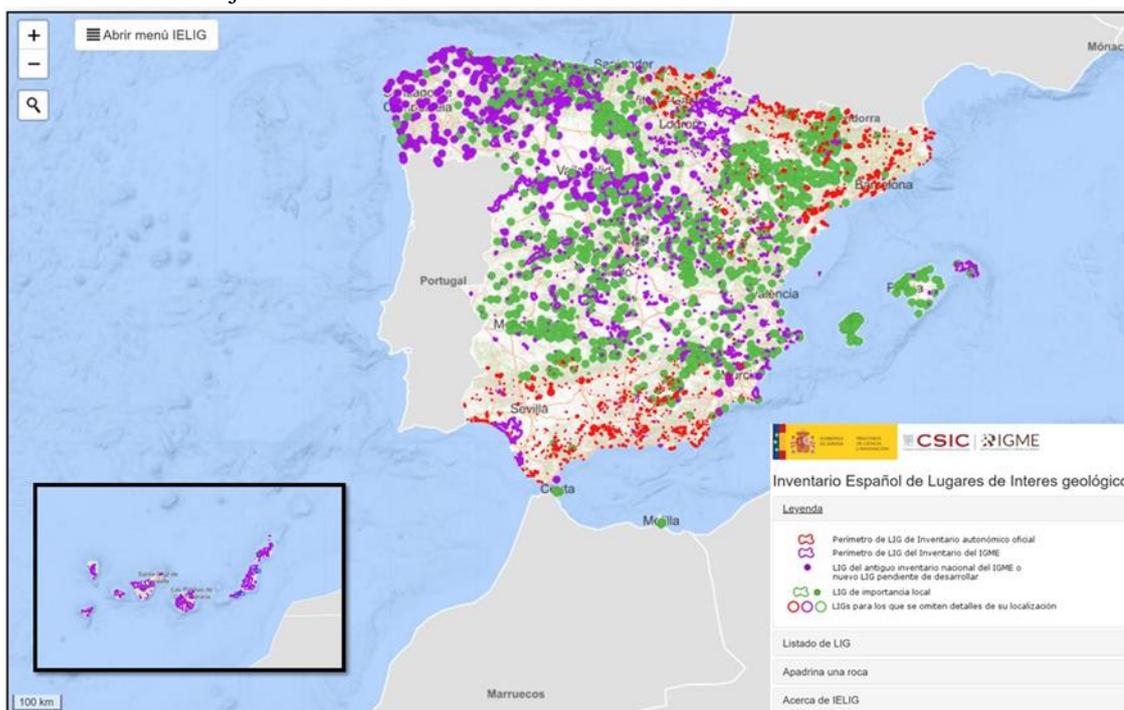
Incluye principalmente la base de datos del IELIG, inventarios en Espacios Naturales Protegidos, inventarios de patrimonio geológico de los Geoparques Mundiales UNESCO de España, inventarios regionales y locales, publicaciones científicas, así como cualquier otra información disponible sobre la zona y la temática.

Se adjuntan algunos enlaces de consulta:

A) Información online, libre y gratuita, del IGME-CSIC:

[Visor web del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico \(IELIG\).](#)

Se puede acceder a los inventarios oficiales autonómicos desde este visor, que corresponden con los LIG en color rojo.



B) Información de otras instituciones

A continuación, se indican los inventarios de patrimonio geológico reconocidos oficialmente por las CCAA y que están accesibles desde los portales de sus consejerías. También se puede acceder a cada uno de ellos desde el visor web del IELIG. Se detallan en orden cronológico desde su aprobación:



[Inventario Andaluz de Georrecursos \(IAG\).](#)

Ha sido el primer Inventario de patrimonio geológico oficialmente reconocido en España por una CCAA en el año 2004. Se ha actualizado en el año 2011, dando lugar a la revisión de 16 localidades y a la incorporación de 74 nuevos enclaves.

[Inventario de espacios de interés geológico de Cataluña \(IEIGC\).](#)

La información disponible del Inventario de Espacios de Interés Geológico de Cataluña contiene dos campos: una delimitación cartográfica de cada espacio, una ficha resumen y una ficha descriptiva de la geología de la localidad.

[Inventario de Lugares de Interés Geológico del País Vasco.](#)

El inventario de Lugares de Interés Geológico (LIG) se concibe como la base para la elaboración de la Estrategia de Geodiversidad del País Vasco.

Visor: https://www.geo.euskadi.eus/geobisorea/?extent=-436784.3839,5242092.112,-152132.8906,5382583.37,102100&layers=LIMITES_CAS_8703_6,INGURUMENA_CAS_5055_346&baselayer=MapaGris

[Catálogo de Lugares de Interés Geológico de Aragón.](#)

[Aragón cuenta desde 2015 con un total de 247 LIG en el Inventario autonómico oficial.](#)

[Inventario Región de Murcia.](#)

Murcia cuenta con su inventario oficial actualizado desde 2018.

3. Bibliografía recomendada.

García-Cortés, Á., Vegas, J., Carcavilla, L., Díaz-Martínez, E. (2019) Bases conceptuales y metodología del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG) / Conceptual base and methodology of the Spanish Inventory of Sites of Geological Interest (IELIG). Instituto Geológico y Minero de España. Castellano <https://bit.ly/3HdYliQ> e inglés <https://bit.ly/3vh2tfX>.

Vegas, J., Alberruche, E. Carcavilla, L., Díaz-Martínez, E., García Cortés, A., García de Domingo, A., Ponce de León, D. (2012) [Guía metodológica para la integración del Patrimonio Geológico en la evaluación del impacto ambiental.](#) Madrid: Instituto Geológico y Minero de España; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 80 pgs.; ISBN 978-84-7840-912-9



VII. ESTRUCTURA DE LA DOCUMENTACIÓN A PRESENTAR POR EL PROMOTOR DEL VERTEDERO.

I. INTRODUCCIÓN.

- Promotor del vertedero.
- Localización del emplazamiento propuesto.
- Clase de vertedero.
 - Espacios naturales protegidos en el entorno del vertedero.

II. TERREMOTOS:

Memoria:

- Contexto Geológico y Sismotectónico del emplazamiento. Localización en el modelo ZESIS (IGME) y descripción de la sismicidad histórica/instrumental (inventario del IGN) registrada en un radio 25 km.
- Descripción de la revisión bibliográfica/documental. Antecedentes históricos y/o documentales de la zona sobre movimientos sísmicos y actividad neotectónica.
- Inventario de estructuras y elementos indicadores de actividad neotectónica.
- Evaluación preliminar de la susceptibilidad espacial por terremotos.
- Descripción de los trabajos de campo y gabinete realizados para la evaluación final de la susceptibilidad espacial por terremotos.
- Análisis de la susceptibilidad final del emplazamiento a los terremotos (Fase I + Fase II).
- Referencias bibliográficas.

Anexos:

- Planos. Se expondrán en formato jpg/pdf.
- Mapa geológico. 1:25.000.
- Mapa de materiales neotectónicos (menos de 2,6 m.a.) y pre-neotectónicos, distinguiendo en estos últimos -mediante trama- los materiales pliocenos. Los materiales cuaternarios se distinguirán con tramas en función del tipo de depósito. 1:25.000.
- Mapa morfotectónico descrito en el apartado 2.2.1 de esta guía. 1:25.000.
- Mapa de lineamientos descrito en el apartado 2.2.1 de esta guía. 1:25.000.
- Mapa inventario descrito en el apartado 2.2.1 de esta guía. 1:25.000.

Reportaje fotográfico.

III. INUNDACIONES FLUVIALES:

Memoria:



- Marco natural del emplazamiento. En este apartado se incluirá una descripción del área en términos geográficos, geológicos, climáticos e hidrológicos.
- Antecedentes históricos y/o documentales de la zona sobre inundaciones. En este apartado se resumirán las principales conclusiones del análisis de la documentación histórica.
- Trabajo de campo. En este apartado se resumirán las principales conclusiones de la recopilación de evidencias de campo relativas a las inundaciones, haciendo referencia a los anexos cuando sea necesario.
- Resultados de los análisis de inundabilidad por las diferentes metodologías.
- Análisis integrado de la susceptibilidad a las inundaciones fluviales.
- Referencias bibliográficas y documentales, ya sean artículos, mapas utilizados o cualesquiera otras fuentes referidas en el texto o utilizadas como apoyo (instrucciones y reglamentos, manuales, etc.).

Anexos:

- Planos (todos a escala 1:5000 o superior, más detallado):
 - Mapa inventario de las evidencias de campo sobre inundaciones pretéritas que incluya los rasgos geomorfológicos más destacables.
 - Mapa de zonas inundables por criterios hidrológico-hidráulicos.
 - Mapa de la extensión y severidad de inundaciones históricas-documentales.
 - Mapa geomorfológico de inundabilidad y de acciones y procesos geológicos asociados.
 - Mapa de susceptibilidad espacial integrada a las inundaciones fluviales.

Reportaje fotográfico.

IV. MOVIMIENTOS DEL TERRENO:

Memoria:

- Marco geológico y geográfico del emplazamiento.
- Antecedentes históricos y/o documentales de la zona sobre movimientos del terreno.
- Trabajo de campo y realización del mapa inventario de movimientos del terreno.
- Descripción de los factores condicionantes.
- Análisis de la susceptibilidad para cada uno de los procesos identificados.
- Referencias bibliográficas.

Anexos:

- Planos (todos a la misma escala, 1:10.000 o de mayor detalle). Se expondrán en formato jpg/pdf.
 - Mapa inventario de los movimientos del terreno que incluya los rasgos geomorfológicos más destacables.
 - Mapa de pendientes.
 - Mapa litológico, incluyendo las estructuras geológicas más relevantes.
 - Mapa hidrogeológico.
 - Mapas de susceptibilidad para cada uno de los procesos identificados.

Reportaje fotográfico.



V. AGUAS SUBTERRÁNEAS.

Memoria:

- Aspectos fisiográficos.
- Hidrología superficial.
- Geología:
 - Marco geológico regional y local.
 - Serie litoestratigráfica en el entorno del punto de vertido.
 - Principales rasgos tectónicos de la zona de interés, características estructurales y análisis de la fracturación (en el caso de que existan acuíferos con permeabilidad por fisuración).
- Hidrogeología:
 - Marco hidrogeológico (cuenca hidrográfica, masas de agua subterránea, acuíferos, etc.).
 - Características hidrogeológicas, geométricas y litológicas de los acuíferos en el entorno del punto de vertido.
 - Piezometría regional de la zona de interés, determinación de la dirección del flujo subterráneo. Situación del nivel piezométrico local. Evolución temporal o, al menos, medidas en aguas altas y bajas.
 - Calidad natural del agua subterránea.
 - Inventario de pozos, sondeos y manantiales en un radio de al menos 5 km en el entorno del vertedero.
 - Cartografía hidrogeológica de detalle (escala 1:25.000 o mayor).
 - Conductividad hidráulica (permeabilidad) de las formaciones geológicas en que se ubica el vertedero.
 - Caracterización geológica de la zona no saturada en la vertical del punto de vertido (litología, espesor, variabilidad, etc.).

Anexos:

- Inventario de pozos, sondeos y manantiales en un radio de, al menos, 5 km en el entorno del vertedero.
- Cartografía geológica a escala 1:25.000 en un radio de 2 km.
- Cartografía hidrogeológica de detalle (escala 1:25.000 o mayor).
- Estimación de la conductividad hidráulica (permeabilidad) de las formaciones geológicas en que se ubica el vertedero. Si no hubiera datos previos, se pueden realizar ensayos in situ de permeabilidad (ver bibliografía).
- Situación del nivel piezométrico local. Evolución temporal o, al menos, medidas en aguas altas y bajas.

Reportaje fotográfico.

VI. PATRIMONIO GEOLÓGICO:



Memoria:

- Detalle del Patrimonio Geológico en el área de ubicación del vertedero, donde se detallen las fuentes consultadas.
- Consulta expresa al IELIG y, en su caso, a los inventarios oficiales de las CCAA.
- Consulta en la bibliografía de otros inventarios de patrimonio geológico de escala regional y local.
- Trabajo de campo y/o comprobación de la cartografía de los posibles LIG afectados.
- Si existen LIG considerados como confidenciales en el IELIG que queden dentro de la superficie ocupada por el vertedero, es necesario solicitar al IGME-CSIC esta información para tener en cuenta la ubicación real. Esta información de los LIG confidenciales no podrá compartirse ni hacerse pública, sólo se empleará para valorar las posibles afecciones por parte de la empresa.
- Análisis de la afección al patrimonio geológico, si la hubiera, de acuerdo con la Guía metodológica para la integración del Patrimonio Geológico en la evaluación del impacto ambiental, de Vegas et al., (2012) que es de libre acceso.

Anexos y reportaje fotográfico (si procede).

VII. CONCLUSIONES.

En este apartado se reflejarán conclusiones claras y concisas sobre cada uno de los aspectos evaluados.