



DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS PARA ESTIMAR LAS TASAS DE CAMBIO DEL PARÁMETRO 'SUPERFICIE OCUPADA' POR LOS TIPOS DE HÁBITAT HIPÓGEOS CONTINENTALES

Pedro A. Robledo
Juan José Durán
Eulogio Pardo-Igúzquiza





DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS PARA ESTIMAR LAS TASAS DE CAMBIO DEL PARÁMETRO 'SUPERFICIE OCUPADA' POR LOS TIPOS DE HÁBITAT HIPÓGEO CONTINENTALES





Aviso Legal: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados, citando la fuente y la fecha, en su caso, de la última actualización.

El presente documento fue realizado en el marco del proyecto *Establecimiento de un sistema estatal de seguimiento del Estado de Conservación de los Tipos de Hábitat en España*, promovido y financiado por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, desarrollado entre 2015 y 2017.

Dirección técnica del proyecto

Rafael Hidalgo Martín¹

Realización y producción

Tragsatec

Coordinación general

Elena Bermejo Bermejo² y Juan Carlos Simón Zarzoso²

Coordinación científica

Pedro A. Robledo Ardila³

Autores

Pedro A. Robledo Ardila³

Juan José Durán Valsero³

Eulogio Pardo-Igúzquiza³

Coordinación y revisión editorial

Jara Andreu Ureta²

Íñigo Vázquez-Dodero Estevan²

¹ Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental. Ministerio para la Transición Ecológica

² Tragsatec, Grupo Tragsa

³ Instituto Geológico y Minero de España (IGME)

A efectos bibliográficos la obra debe citarse como sigue:

Robledo P A, Durán J J & Pardo-Igúzquiza E. 2019. Descripción de métodos para estimar las tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' por los tipos de hábitat hipógeos continentales. Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 27 pp.

Las opiniones que se expresan en esta obra no representan necesariamente la posición del Ministerio para la Transición Ecológica. La información y documentación aportadas para la elaboración de esta monografía son responsabilidad exclusiva de los autores.



MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

Edita:

© Ministerio para la Transición Ecológica

Secretaría General Técnica

Centro de Publicaciones

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:

<https://cpage.mpr.gob.es>

NIPO: 638-19-088-X

ÍNDICE

1. DETERMINACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA SUPERFICIE OCUPADA	7
2. PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LA TASA DE CAMBIO DE LA SUPERFICIE OCUPADA	8
2.1. Catálogo general de cuevas en España	8
2.2. Topografía del interior de la cavidad	10
2.3. Delimitación del área que ocupa la cueva en superficie	11
2.4. Delimitación de los perímetros que afectan en niveles diferentes al geosistema y ecosistemas de las cuevas.....	14
2.4.1. Propuesta de delimitación de perímetros de protección.....	15
3. CONCLUSIONES GENERALES.....	17
4. REFERENCIAS	19
Bibliografía adicional de interés.....	19
ANEXO I. Descripción de métodos para estimar las tasas de cambio del parámetro ‘Superficie ocupada’ para al menos el tipo de hábitat de interés comunitario 8310.....	25
I.1. Introducción	25
I.2. Cálculo de tasas de cambio del parámetro ‘Superficie ocupada’	25
I.3. Referencias	27



1. DETERMINACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA SUPERFICIE OCUPADA

Para la determinación del parámetro 'Superficie ocupada' es necesario realizar un inventario de afloramientos. Numerosos grupos de espeleología e investigación españoles y extranjeros han desarrollado trabajos regionales en España desde principios del siglo pasado. Este inventario tiene la particularidad de que, debido a la naturaleza de las cavidades, su distribución responde a un patrón muy irregular, asociado a los afloramientos de rocas solubles, resultando en zonas con una alta concentración de las mismas y extensas zonas sin ellos. Debido a que la formación de cavidades está ligada principalmente a la presencia de aguas y CO₂, es interesante reflejar la ubicación de acuíferos carbonáticos como referencia en el inventario.

La cartografía e inventario deberán realizarse a escala detallada (1:10.000 o más detallada) y se deberán diferenciar:

- Sectores activos e inactivos.
- Localización de otros elementos del sistema, cuyo seguimiento es fundamental para garantizar la pervivencia del tipo de hábitat: masas de aguas subterráneas, vegetación, precipitaciones, cursos fluviales y otros.
- Valoración del estado de conservación.

La formación y evolución de sistemas endokársticos está condicionada por una serie de factores físico-químicos en los cuales son fundamentales las condiciones ambientales. Esto quiere decir que los cambios en la temperatura media anual, en el volumen y forma de precipitaciones, o incluso en la insolación, tienen reflejo en su desarrollo, ya que son particularmente sensibles a estos cambios. A la hora de valorar el estado de conservación es importante discernir el papel de la participación antrópica en los cambios, y así poder descartar motivos externos en la evolución del sistema.

Para la estimación del mantenimiento de la cavidad es necesario realizar el control de la superficie activa, las modificaciones en la red de drenaje, en los usos del suelo en la zona superficial de la cavidad o en el acuífero. Para estimar las variaciones en las cavidades es muy útil la revisión de estas con equipos para el análisis ambiental, la fisicoquímica de las aguas y el seguimiento del clima de forma seriada para su comparación estacional o anual. En esta fase, deberá atenderse a que la funcionalidad de las cavidades dependerá, en gran medida, del funcionamiento hidrogeológico, especialmente el referido a la zona vadosa del acuífero (cavidad).

En el caso de depósitos de precipitación química (espeleotemas), el seguimiento del estado de conservación viene dado por la ausencia de elementos exógenos (algas, líquenes o microorganismos) que alteren la roca, si bien, la disolución, colapso del techo o paredes de las cavidades, o la degradación colateral de los espeleotemas debido a la fauna endémica (murciélagos), son procesos que forman parte de la evolución natural de un sistema endokárstico.



2. PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LA TASA DE CAMBIO DE LA SUPERFICIE OCUPADA

La metodología para la delimitación de la superficie ocupada por cavidades se basa en cuatro componentes:

- Catálogo general de cuevas en España (bases de datos de CCAA y organismos implicados).
- Topografía del interior de la cavidad.
- Delimitación del área que ocupa la cueva en superficie.
- Delimitación de los perímetros que afectan en niveles diferentes al geosistema y ecosistemas de las cuevas.

En el Anexo I se describen los métodos para estimar las tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' para el tipo de hábitat de interés comunitario (THIC) 8310 Cuevas no explotadas por el turismo.

2.1. Catálogo general de cuevas en España

Actualmente los catálogos de cuevas en España están ligados a organismos no gubernamentales y federaciones deportivas, espeleología y montaña. Prueba de ello son los siguientes catálogos realizados como ejemplos:

1. Grandes cuevas y simas de España (Puch 1998)
2. Catálogo informatizado de las provincias de Huelva y Sevilla
3. Confederación de Espeleología y Cañones (CEC). <http://cec-espeleo.com/grandes-cavidades-otros-materiales/>
4. Confederación de Espeleología y Cañones (CEC). <http://cec-espeleo.com/grandes-cavidades-desarrollo/>
5. Grupo Espeleológico Edelweiss (Servicio de Investigaciones Espeleológicas de Burgos). <https://grupoedelweiss.com/web/index.php/cavidades-de-burgos-en-google-maps> (Figura1)
6. <http://www.cuevasysimas.es/> (Figura 2)
7. <https://cuevasdemurcia.com>

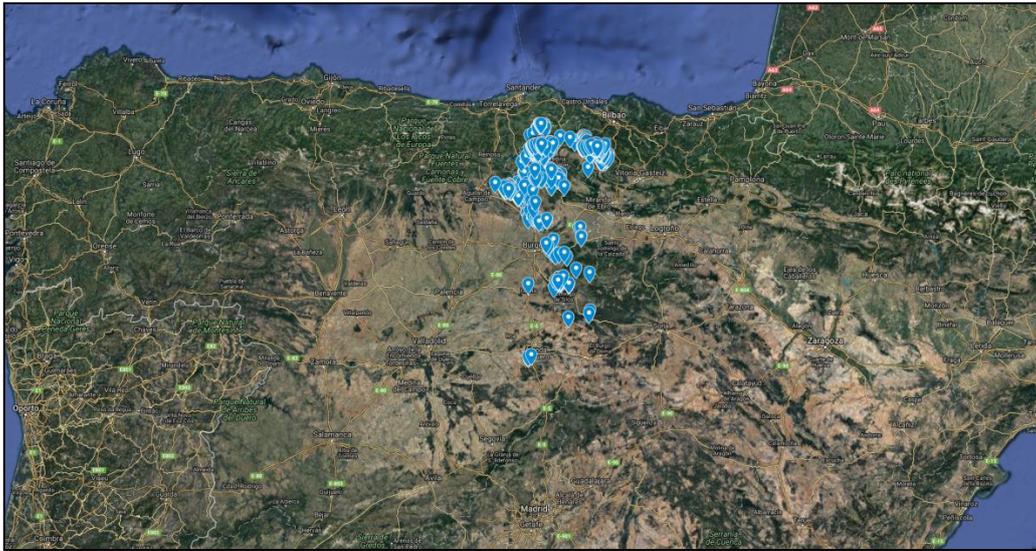


Figura 1 Ejemplo del catálogo de cavidades de Burgos revisadas. Fuente: extraída de la página web del grupo Edelweiss.

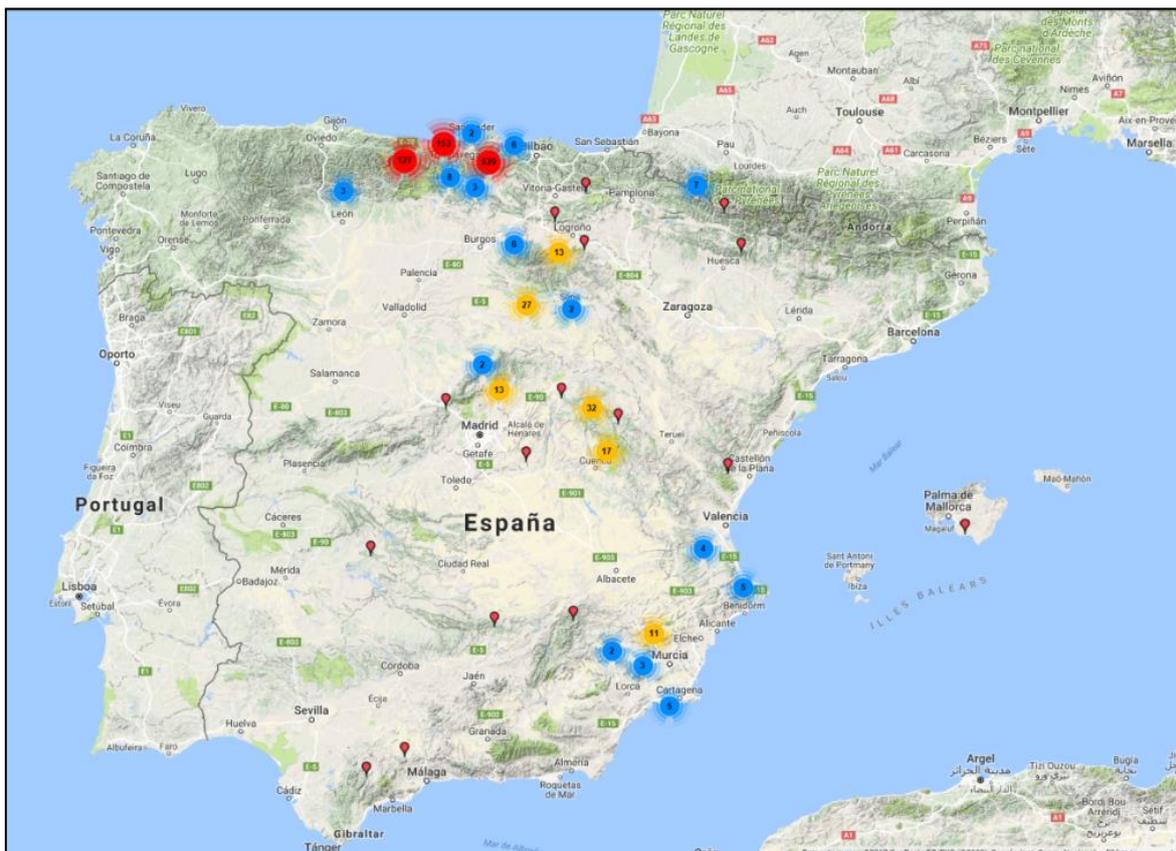


Figura 2 Catálogo de cuevas y simas publicado en la web de Cueva y Simas de España. Fuente: extraída de la web de Cueva y Simas de España.



No obstante, no existe un catálogo o inventario homogéneo si no que cada grupo o federación lo realiza de acuerdo con sus criterios y, obviamente con los fondos previstos para obtener la información y plasmarla en una web. No obstante, desde el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) se ha desarrollado una iniciativa llamada Centro Nacional del Karst (CNKA; Figura 3) que tiene como objetivo aglutinar y homogeneizar, entre otras cosas, el inventario de cuevas, y realizar un inventario nacional conjunto. Este inventario tiene dos líneas maestras: a) Que el sistema de coordenadas sea unitario; b) realizarlo mediante un Sistema de Información Geográfica (en adelante GIS, del inglés *Geographic Information System*); c) que cada cueva tenga, topografía, datos de tamaño, tipo de roca y tipo de cavidad. Todo ello sin menosprecio de que pueda dotarse de más información. Entre los objetivos de este Centro de reciente creación está "la administración de los datos y metadatos obtenidos en las investigaciones llevadas a cabo por el IGME u otros organismos en el karst, así como el almacenamiento, gestión y difusión de estos fondos documentales".



Figura 3 Logo del Centro Nacional del Karst que tendrá sede en el IGME. Fuente: elaboración propia.

2.2. Topografía del interior de la cavidad

La cartografía de la planta y secciones de la cueva son básicas para poder establecer tanto las superficies exploradas como el posible cambio de superficie ocupada. En este sentido, también ofrecen una herramienta para poder establecer los mecanismos de control ambiental en cada caso ya que permiten una imagen real del tamaño y desarrollo de la cavidad. En la actualidad, las herramientas topográficas han sufrido un amplio desarrollo por lo que para establecer tasas de desarrollo, volúmenes y alturas se utilizan estaciones totales y distanciómetros conjuntamente. No obstante, es importante que a la vez se homogenicen criterios de datos para que todas las topografías puedan estar realizadas en sistemas de datos iguales. Para ello, también es necesario contemplar qué topografías, en 2D o en 3D, puedan ser ampliadas en sistemas de GIS o AUTOCAD, con el fin de ir ampliando las tasas de superficie ocupada (Figura 4). La evolución de la topografía de la cavidad y su revisión debe ser permanente mientras existan partes de la cueva sin explorar.

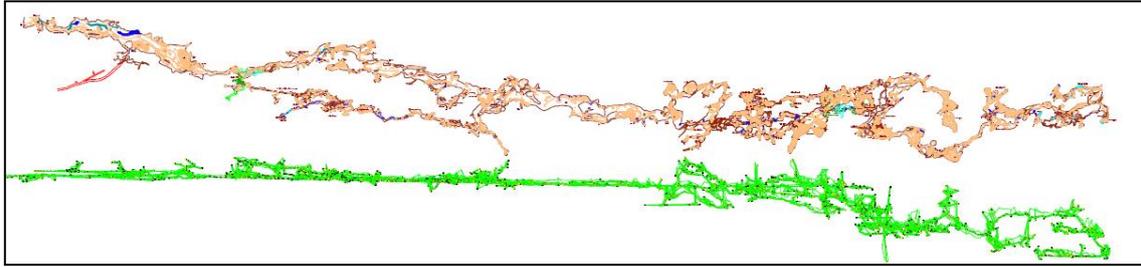


Figura 4 Topografía, a modo de ejemplo, de la Cueva de el Soplao en la que se observa tanto su proyecto en 2D como su proyección en 3D. Fuente: elaboración propia.

2.3. Delimitación del área que ocupa la cueva en superficie

Este aspecto es importante para saber, por un lado, qué parte del territorio es susceptible de ser protegido o gestionado con coherencia. A menudo no se contempla cuánto territorio en superficie ocupa la cueva y solo el subsuelo es de interés o la planta de la cavidad, que no es más que una figura geométrica sin sentido de gestión (Figuras 5 y 6). Por ejemplo, en un sistema kárstico, superficie y subsuelo forman una zona integral, que sin la gestión de una no se puede preservar la gestión de la otra. Para ello se propone:

1. Proyectar la cueva sobre una ortofotografía con la ubicación en local, regional y nacional. En este sentido se proyecta la cueva sobre un Modelo Digital del Terreno (MDT) y un Modelo Digital de Elevaciones (MDE).
2. Delimitar tanto la planta de la cueva como un área que comprenda una superficie lógica de desarrollo no conocido.
3. Proyectar la cavidad sobre la cartografía hidrogeológica y las masas de agua a la que corresponde con el fin de ver su posición en el acuífero y las posibles relaciones hidrogeológicas e hidráulicas que puede tener (zona de descarga, zona de recarga, transistividades en diferentes zonas, etc.).
4. Si es una cueva litoral delimitar el área litoral que puede abarcar la cavidad.

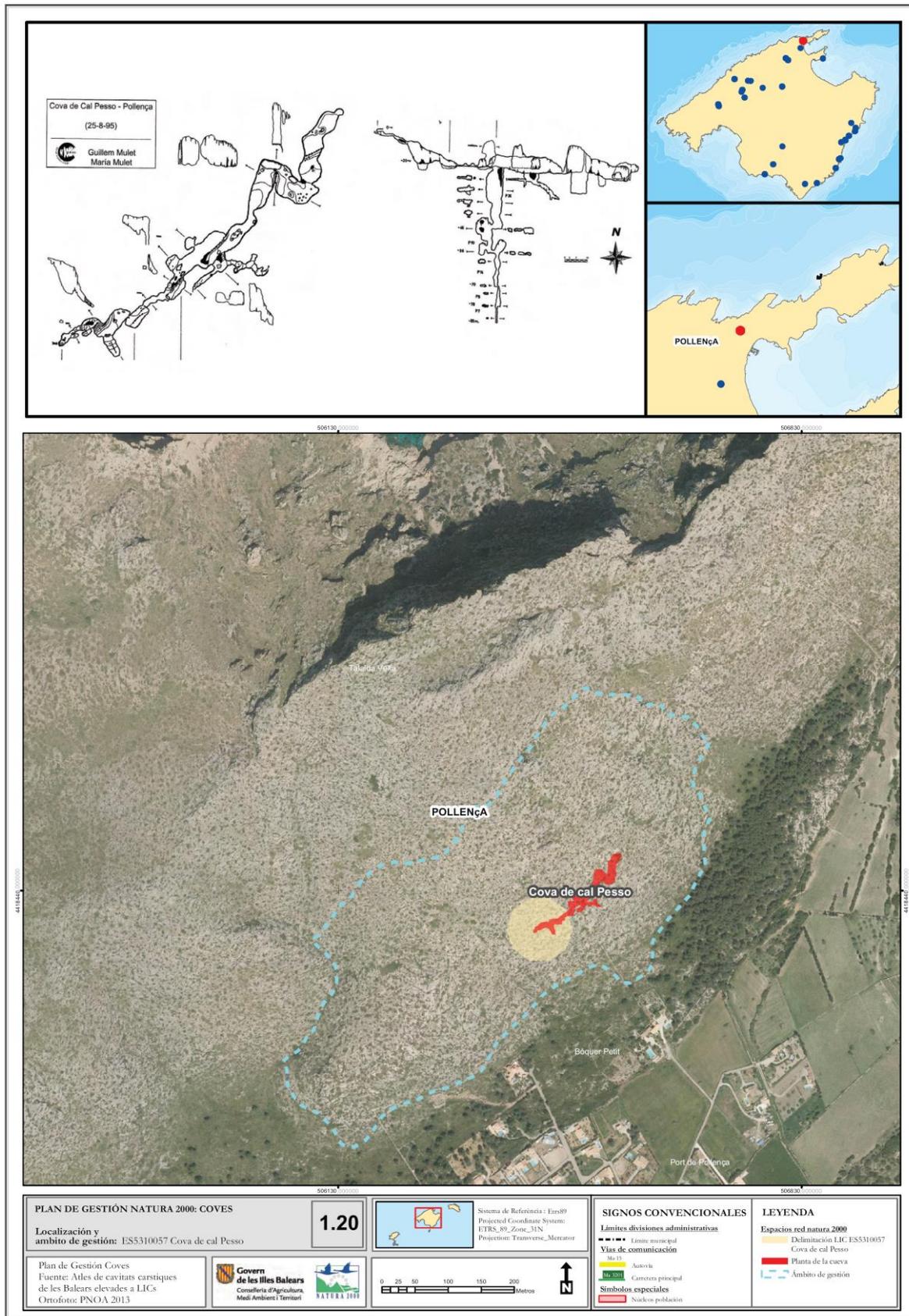


Figura 6 Ejemplo de ficha de una cueva continental con las delimitaciones propuestas en el Plan de Gestión de la CCAA de las Illes Balears. Fuente: extraída de la cartografía de la Cova de Cal Pesseo del Plan de Gestión Natura 2000 de Coves (BOIB 2015).



2.4. Delimitación de los perímetros que afectan en niveles diferentes al geosistema y ecosistemas de las cuevas

La delimitación de los perímetros de protección debe seguir con relación a la vulnerabilidad de la cueva que estará basada en los siguientes criterios:

1. Geográfico:

- a) Proyección de la cueva sobre una ortofotografía con una resolución alta.
- b) Proyección de la cueva sobre el mapa topográfico a escala de mucho detalle.

2. **Topográfico:** proyección de la cueva sobre el MDT y MDE en la zona de estudio y el municipio correspondiente si es una cueva urbana.

3. **Sistema endokárstico:** análisis de la distribución y tipología de la planta de la cueva mediante exploración directa, y análisis de las formas de disolución y precipitación en el interior de la cavidad.

4. **Análisis del sistema endokárstico mediante métodos indirectos:** georradar y tomografías eléctricas de las zonas adyacentes a la cueva (p. ej. en la Cova des Pas de Vallgornera).

5. **Red hidrográfica:** se deben considerar la red de cauces, las divisorias de aguas que delimitan las diferentes cuencas hidrográficas y los límites hidrológicos del área de influencia de la cueva. Se deben incluir en la zona de protección integral las cuencas que se encuentran sobre la cueva y aquellas áreas en las que las aguas superficiales pudieran circular hacia las mismas.

6. **Geología:** se ha de tener en cuenta la superficie de afloramiento permeable y la distribución de los diferentes cinturones de facies en los que se desarrolla.

7. **Hidrogeología:** se debe considerar la distribución de materiales más o menos permeables y las características hidráulicas de la masa de agua subterránea, como la transmisividad y la permeabilidad. Por tanto, se debe proyectar la topografía de la cavidad sobre la masa de agua subterránea en la que se ubica.

Se deben relacionar en conjunto todos los datos aunque con mayor peso específico al sistema hidrogeológico donde se ubica la cueva en concreto. En el análisis de las características hidrogeológicas, además del análisis técnico, se debe tener en cuenta la Directiva Marco del Agua (DMA)¹. También el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas², y posteriores modificaciones. También, se ha revisado el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/86, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas, y el Plan Hidrológico.

¹ Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas

² Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas



En este sentido, se propone aplicar la metodología que recoge la ley, ya aplicada en algunos trabajos (Junta de Andalucía 1999; Robledo 2014).

Si son cuevas en enclaves urbanos o semiurbanos debe cruzarse toda la información con el Plan General de Ordenación Urbana (PGOU), el Plan Territorial (junto con las Directrices de Ordenación Territorial) y la legislación ambiental; de espacios naturales y de régimen urbanístico. También es importante valorar la Directiva Marco del Agua.

2.4.1. Propuesta de delimitación de perímetros de protección

De acuerdo con estos criterios se propone delimitar de tres a cuatro áreas de protección, dependiendo de si la cueva está relacionada con el mar, una masa de agua superficial o se trata de una cueva de interior (Figura 7). Los límites tienen intensidades de protección diferentes. Se propone la siguiente zonificación:

1. **Área de protección integral.** Es la superficie del terreno inmediatamente encima de la parte explorada y conocida de la cueva. Se denomina integral ya que cualquier actuación sobre esta área repercute de forma directa sobre la cavidad y el sistema microambiental de la misma. Tienen especial riesgo las actividades relacionadas con usos urbanos, domésticos, turísticos y constructivos. También tienen efectos negativos de estabilidad de la cavidad las obras y/o construcciones en su entorno más inmediato, como infraestructuras urbanas, red de alcantarillado, fosas sépticas y otras. Hidrogeológicamente, en esta zona el flujo de agua tiene una componente vertical con un tiempo de tránsito ≤ 1 día, es decir, la distancia que tendría que recorrer una partícula para alcanzar la cavidad desde la superficie del terreno. Además, la presencia de agua del acuífero da lugar a procesos de intercambio entre tres ambientes distintos (atmósfera terrestre, atmósfera de la cueva y agua del acuífero), todos ellos manteniendo un equilibrio dinámico muy frágil.
2. **Área de protección transitoria.** Es el área intermedia en la que se consideren condicionantes geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos y topográficos. Las actuaciones de carácter agrario en esta zona pueden repercutir directamente sobre el estado de conservación de la cavidad, especialmente el uso de abonos nitrogenados, pesticidas y plaguicidas. Su denominación de transitoria indica su posible ampliación o disminución en el caso de que incurrieran nuevos condicionantes que motivaran mayor o menor superficie de protección o cambiaran las actividades a desarrollar en esta zona. Es de restricciones altas ya que el flujo hidrogeológico en esta zona presenta una componente dominante vertical y, en menos medida horizontal, donde una partícula para alcanzar la cueva tardaría más de un día y menos de 60 días.
3. **Zona de protección secundaria.** Es el área más alejada de la cavidad y en la que deben prevalecer criterios geológicos e hidrogeológicos. Aquí entran el PGOU, el Plan Territorial y la Ley de Espacios Naturales vigentes. La denominación secundaria manifiesta un tipo de restricción moderada bajo el control de la administración competente. La zona de protección secundaria está comprendida por encima de la zona de protección transitoria y es aquella en la que una partícula tarda más de 1 año en llegar a la cavidad. El objetivo de la zona de restricciones moderadas es la protección contra los contaminantes de larga persistencia.



4. **Zona de protección marítimo-terrestre.** Es una franja de alrededor de 50 m de litoral marítimo entre la costa litoral y el mar (o el lago). Se ha definido esta zona fundamentalmente por la relación hidrogeológica directa que puede haber entre la mezcla de aguas dulces y aguas saladas del mar dado que afecta básicamente a los acuíferos costeros. En esta zona se insta a contralar las actividades marítimas, especialmente aquellas que utilizan las embarcaciones de recreo, así como el control de las aguas marinas en contacto con el acuífero y las actividades ligadas a las urbanizaciones y que puedan utilizar la zona acantilada como desagüe de las pluviales o fecales.

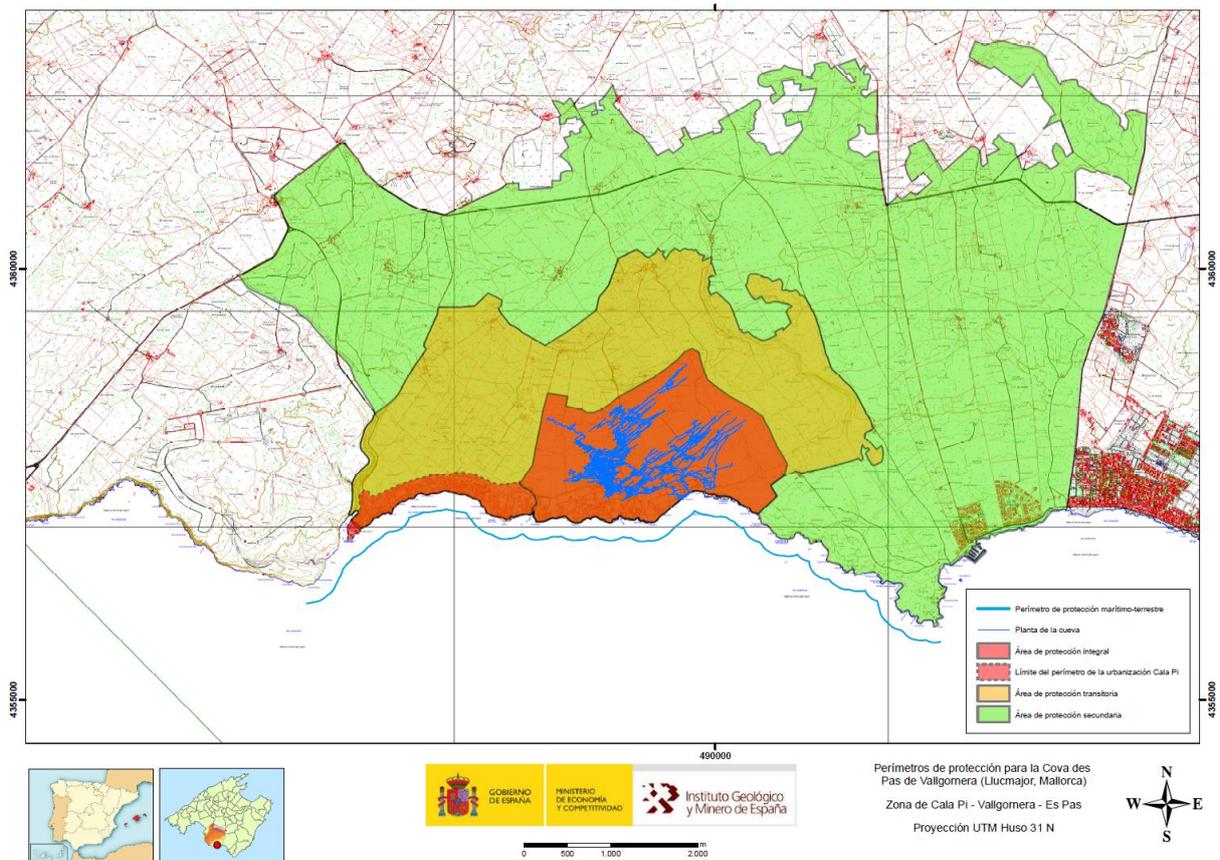


Figura 7 Ejemplo de superficies delimitadas para la protección de una cueva kárstico litoral (Cova des Pas de Vallgornera, Mallorca). Fuente: extraída de Robledo (2014).



Tabla 1 Resumen del seguimiento de la superficie ocupada de una cueva. Fuente: elaboración propia.

TIPOS DE ANÁLISIS GENERAL	METODOLOGÍA	PERIODO DE REALIZACIÓN	TIPO DE CUEVA
Catálogo de cuevas	Catálogos de las Sociedades de Espeleología	Permanente	Todas
	Bibliografía	Permanente	Todas
	Organismos Público (CNKA)	Permanente	Todas
Topografía del interior de la cavidad	Estación total	Permanente	Todas
	Exploración directa	Permanente	Todas
	GIS proyectados en 2D y 3D	Permanente	Todas
	Bases de datos	Cada año	Todas
Delimitación del área que ocupa la superficie	Proyección ortofotografía de la planta	Permanente	Todas
	MDE y MDT	Permanente	Todas
	Proyección ortofotografía de cartografía hidrogeológica	Permanente	Todas
	Delimitar área litoral	Permanente	Todas
Perímetros de protección	Área de protección integral	Permanente	Todas
	Área de protección transitoria	Permanente	Todas
	Área de protección secundaria	Permanente	Todas
	Área de litoral	Permanente	Litorales

3. CONCLUSIONES GENERALES

Para la elaboración de los diferentes perímetros de protección definidos es necesario cruzar un conjunto importante de datos, aunque con mayor peso específico al sistema hidrogeológico donde se ubica la cueva.

Como criterio general, el área de protección integral con la zona de infiltración en la que se ubica la cavidad se puede delimitar considerando que es parte de un acuífero, casi siempre libre, con una elevada transmisividad y permeabilidad. Por tanto, hay que tener en cuenta las peculiaridades específicas de los acuíferos kársticos, que en general son los que albergan mayor y más singulares números de cuevas:

1. La evolución del acuífero.
2. La heterogeneidad espacial respecto a la distribución de cinturones de facies, si las hay.



3. El posible efecto de la intrusión marina en la zona de mezcla si es una cueva litoral.
4. La variabilidad del tipo de porosidad, el flujo y el almacenamiento.
5. La variabilidad temporal.

Además, otro elemento determinante en cualquier cueva en carbonatos o evaporitas, es la relación entre el medio físico y el contexto hidrogeológico del área kárstica. El contexto tiene la capacidad de condicionar, determinar y/o configurar las características hidráulicas intrínsecas del propio acuífero y, por tanto, dichas características pueden ser variables y evolucionar en el tiempo y en el espacio.

En el caso de los perímetros de protección propuestos, han requerido de una metodología específica que permita recoger la interrelación entre medio físico y contexto hidrogeológico, es decir, se ha abordado desde la óptica integral mediante el análisis de varios elementos hidrogeológicos que tienen un elevado peso específico en la cavidad. Así, para estimar la extensión de la zona de alimentación del sistema y poder contrastarla con sus límites hidrogeológicos, se debe considerar la relación entre la recarga y la descarga de la unidad, transmisividad en cada zona perimetral clasificada y permeabilidad.

El seguimiento debe ser anual en cuanto a las variables hidroquímicas para determinar que se cumplen las normas de protección previstas en cada área perimetral que se derive del estudio previo.



4. REFERENCIAS

BOIB. 2015. Decreto 14/2015, de 27 de marzo, por el que se aprueban cinco planes de gestión de determinados espacios protegidos red Natura 2000 de las Illes Balears. BOIB Núm. 51. 9 de abril. http://www.caib.es/eboibfront/es/2015/10279?&p_numero=10279.

Junta de Andalucía. 1999. Decreto 225/1999, de 9 de noviembre, de regulación y desarrollo de la figura de Monumento Natural de Andalucía. BOJA 146/1999, de 16 de diciembre, 16.177-16.181. Sevilla.

Puch C. 1998. Grandes cuevas y simas de España. Ed. Espeleoclub de Gracia. Badalona, España. 794 pp.

Robledo P A. 2014. Informe para la delimitación del perímetro de protección de Lugar de Interés Comunitario (LIC) "Cova des Pas de Vallgornera", Lluçmajor, Mallorca, Islas Baleares. Instituto Geológico y Minero de España. 89 pp.

Bibliografía adicional de interés

Adrados L. 2014. Experiencia didáctica en un área de alto valor patrimonial: el karst litoral del oriente de Asturias. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. 22(1): 49-60.

Aja G, de la Hoz I & Altuna N. 2010. El plan de actuación y restauración del entorno de la Cueva de Pozalagua. pp. 93-110. En: Durán J J & Carrasco F (eds.) Cuevas: patrimonio, naturaleza, cultura y turismo, Asociación de cuevas turísticas españolas.

Andreu J M, Cañaveras J C, Cuevas J, García del Cura M A, Hernández J A, Muloz M C & Soler V. 2009. Caracterización microclimática de la Cueva del Canelobre (Alicante). pp. 105-114. En: Durán J J, Robledo P A & Vázquez J (eds.) Cuevas turísticas: aportación al desarrollo sostenible. Instituto Geológico y Minero de España. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 24.

Aramburu A, Vadillo I, Damas L, García-Garmilla P, Iridoy P, Arriolabengoa M, Berreteaga A, Olaetxea C, de la Hoz I & Altuna N. 2010. Degradación de los espeleotemas de la Cueva de Praileaitz I. pp. 93-110. En: Durán J J & Carrasco F (eds.) Cuevas: patrimonio, naturaleza, cultura y turismo, Asociación de cuevas turísticas españolas.

Armstrong L, Osborne R, Weliange W S, Jayasingha P, Dandeniya A S, Prageeth A K, Algiriya P, Ross P & Pogson E. 2013. Caves and karst-like features in proterozoic gneiss and cambrian granite, southern and central Sri Lanka: an introduction. Acta Carsologica. 42(1): 25-48.

Arribas A & Jordá J F. 1999. Los mamíferos del Cuaternario kárstico de Guadalajara (Castilla-La Mancha, España). pp. 327-353. En: Aguirre E & Rábano I (eds.) La Huella del Pasado. Fósiles de Castilla-La Mancha, Patrimonio Histórico. Arqueología Castilla-La Mancha.

Ayala F, Rodríguez J M, del Val J, Durán J J, Prieto C & Rubio J. 1989. Mapa del Karst de España a escala 1:1.000.000. Instituto Geológico y Minero de España. 68 pp. + 1 mapa.

Belmonte A, Sancho C, Moreno A, López Martínez J & Bartolomé M. 2014. Environmental dynamics in ice cave A294, Central Pyrenees, Spain. Geografía Física e Dinámica Cuaternaria. 37: 131-140.

Belmonte A. 2014. Geomorfología del macizo de Cotiella (Pirineo oscense): cartografía, evolución paleoambiental y dinámica actual. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza. 580 pp.



- Brilha J. 2005. Património geológico e geoconservação. A conservação da natureza na sua vertente geológica. Universidade do Minho. 190 pp.
- Brilha J. 2015. Concept of Geoconservation. In: Tiess G, Majumder T & Cameron P (eds.) Encyclopedia of Mineral and Energy Policy, 1-2. Springer-Verlag.
- Brocx M & Semeniuk V. 2007. Geoheritage and geoconservation. History, definition, scope and scale. Journal of the Royal Society of Western Australia. 90: 53-87.
- Calaforra J M & Pulido A. 1989. Principales sistemas kársticos en yesos en España. pp. 277-294. En: Durán J J & López-Martínez J (eds.). El karst en España. Monografías nº 4. Sociedad Española de Geomorfología. Madrid.
- Calaforra J M, Fernández-Cortés Á, Gázquez-Parra J A & Novas N. 2009. Conservando la cueva de El Soplao para el futuro: control de parámetros ambientales, 52-57. Consejería de Cultura, Turismo y Deporte del Gobierno de Cantabria.
- Carcavilla L & Palacio J. 2011. Proyecto geosites: aportación española al patrimonio geológico mundial. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 231 pp.
- Carcavilla L, Belmonte Á, Durán J J & Hilario A. 2011. Geoturismo: concepto y perspectivas en España. Revista de Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. 19(1): 81-94.
- Carcavilla L, Castanedo M, Durán J J, Lozano R P & Robledo P A. 2011. 100 preguntas y respuestas sobre la cueva de El Soplao. Una guía curiosa y divertida de la cueva. Instituto Geológico y Minero de España y Gobierno de Cantabria. 136 pp.
- Carcavilla L, de la Hera A, Durán J J, Gracia F J, Pérez-Alberti A & Robledo P A. 2008. El papel de la geología y la geomorfología en la Directiva Hábitats de la Unión Europea. pp. 431-434. En: Benavente J & Gracia F J (eds.) Trabajos de Geomorfología en España 2006-2008. Sociedad Española de Geomorfología. Cádiz.
- Carcavilla L, Delvene G, Díaz-Martínez E, García-Cortés Á, Lozano G, Rábano I, Sánchez A & Vegas J. 2012. Geodiversidad y patrimonio geológico. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Segunda edición. 22 pp.
- Carcavilla L, Durán J J, Vázquez A & Vázquez-Navarro J. 2014. Patrimonio geomorfológico: conservación y gestión de los edificios y paisajes tobáceos. pp. 339-348. En: González J A & González M J (eds.) Las tobas en España. Sociedad Española de Geomorfología.
- Carcavilla L, López-Martínez J & Durán J J. 2007. Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. IGME. Serie Cuadernos del Museo Geominero, nº 7, Madrid. 360 pp.
- Carcavilla L. 2012. Geoconservación. Editorial La Catarata e Instituto Geológico y Minero de España. 126 pp.
- Carcavilla L. 2014. Guía práctica para entender el patrimonio geológico. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 2014 (22.1).
- Carrasco F, Andreo B, Durán J J, Vadillo I & Liñán C. 1998. La cueva de Nerja como elemento geológico de patrimonio natural andaluz. pp. 51-56. En: Durán J J & Vallejo M (eds.) Comunicaciones de la IV Reunión de la Comisión de Patrimonio Geológico. Sociedad Geológica de España. Madrid.



- Cendrero A. 2000. Patrimonio geológico: diagnóstico, clasificación y valoración. pp. 23-38. En: Palacio J (ed.) Jornadas sobre Patrimonio Geológico y Desarrollo Sostenible. Serie Monografías. Ministerio de Medio Ambiente. Sociedad Española de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio.
- Cuchí J A, Villarroya J L & Salamero E. 2010. Los ríos en roca en el Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara. pp. 249-267. Em: Ortega J A & Durán J J (eds.) Patrimonio geológico: Los ríos en roca de la Península Ibérica. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie Geología y Geofísica.
- Cueto G J. 2009. Reutilización turística del patrimonio minero de Cantabria. Cuadernos de Turismo. 23: 69-87.
- Durán J J & Durán V. 2003. Yo descubro el mundo subterráneo. Instituto Geológico y Minero de España. 48 pp.
- Durán J J & Robledo P A. 2002. Karst y Patrimonio Natural. pp. 261-266. In: Carrasco F, Durán J J & Andreo B (eds.) Karst and Environment. Fundación Cueva de Nerja, Málaga.
- Durán J J (coord.). 2006. Guía de las cuevas turísticas españolas. Asociación de Cuevas turísticas Españolas e Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 104 pp.
- Durán J J, Cantalejo P, Espejo M^a M, Ramos Muñoz J & Vallejo M. 1998. La Cueva de Ardales (Málaga, sur de España): un ejemplo de recuperación y gestión social del patrimonio natural e histórico. pp. 65-68. En: Durán J J & Vallejo M (eds.) Comunicaciones de la IV Reunión de la Comisión de Patrimonio Geológico. Sociedad Geológica de España. Madrid.
- Durán J J, Carrasco B & Rivas A. 1999. Management of the underground geological patrimony: tourism and research; the example of the Nerja cave (Málaga, Spain). pp. 367-373. In: Baretino D, Vallejo M & Gallego E (eds.) Towards the Balanced Management and Conservation of the Geological Heritage in the New Millenium. Sociedad Geológica de España. Madrid.
- Durán J J, Cuenca J & López-Martínez J. 1996. Un ejemplo de sistematización e inventario del Patrimonio Geológico: el Patrimonio kárstico de la provincia de Málaga. Geogaceta. 19: 224-227. Sociedad geológica de España. Madrid.
- Durán J J, García de Domingo A & Robledo P A. 2009. Propuesta de clasificación genético-geológica de humedales. Aplicación a los humedales españoles incluidos en el Convenio de Ramsar. Boletín Geológico y Minero. 120 (3): 335-346.
- Fernández-Rubio J. R. 1989. Minería y karst en España. pp. 373-380. En: Durán J J & López-Martínez J (eds.) El karst en España. Monografías nº 4. Sociedad Española de Geomorfología. Madrid.
- García del Cura M J, González-Martín J A & Ordóñez S. 1999. Conservation of an active fluvial tufa barrage system: Ruidera Lakes natural park (Castilla-La Mancha, Spain). pp. 275-281. In: Baretino D, Vallejo M & Gallego E (eds.) Towards the Balanced Management and Conservation of the Geological Heritage in the New Millenium. Sociedad Geológica de España. Madrid.
- García-Cortés A (ed.). 2008. Contextos Geológicos españoles: una aproximación al patrimonio geológico español de relevancia internacional. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 235 pp.
- García-Cortés A, Baretino D & Gallego E. 2000. Inventario y catalogación del patrimonio geológico español. Revisión histórica y propuestas de futuro. En: Baretino D, Wimbledon W W P & Gallego E (eds.) Patrimonio geológico: conservación y gestión. Instituto Tecnológico Geominero de España.



- García-Ruiz J M & Martí-Bono C. 2001. Mapa geomorfológico del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Serie Técnica. Madrid. 106 pp.
- Garrido A, del Rosa Y, Liñán C & Montesino A. 2009. Plan director de conservación de la Cueva de Nerja (Málaga). pp. 295-304. En: Durán J J & López-Martínez J (eds.) Cuevas turísticas, cuevas vivas, Asociación de Cuevas Turísticas Españolas.
- Gavilán C J, Alonso I & Durán J J. 1999. Estudio preliminar de la Cueva de Castelar (Ciudad Real). Un ejemplo español de karst en cuarcitas. pp. 101-110. En: Andreo B, Carrasco F & Durán J J. (eds.) Contribución al estudio de las cavidades kársticas al conocimiento geológico. Patronato de la Cueva de Nerja. Nerja (Málaga).
- González J A, Fidalgo C, Arteaga C, González M J & Rubio V. 2014. La degradación antrópica de los paisajes tobáceos. pp. 317-348. En: González J A & González M J. (eds.) Las tobas en España. Sociedad Española de Geomorfología.
- Gray M. 2013. Geodiversity. Valuing and Conserving Abiotic Nature. Wiley, 495 pp.
- Hamilton-Smith E. 2007. Karst and World Heritage Status. Acta Carsologica. 36(2): 291-302.
- Hayward B W & Kenny J A. 2011. Karst in basalt. Geoscience Society of New Zealand Newsletter. 3: 12-15.
- Henriques M H, Pena dos Reis R, Brilha J & Mota T. 2011. Geoconservation as an Emerging Geoscience. Geoheritage. 3: 117-128.
- Jennings J. N. 1971. Karst. An introduction to systematic geomorphology. MIT Press. Cambridge. 253 pp.
- Jiménez M, Marcos A & Pérez S. 1999. Microkarstic features in ultramafic rocks (Cabo Ortegal, Galicia, NW Spain). pp. 242-247. In: Baretino D, Vallejo M & Gallego E (eds.) Towards the Balanced Management and Conservation of the Geological Heritage in the New Millenium. Sociedad Geológica de España. Madrid.
- Krobicki M, Golonka J, Pająk J, Słomka T & Van Hung N. 2006. Karst regions and processes in the north Vietnam and their geoturistic significance. Geoturystyka-Geoturism. 1: 51-70.
- Macedo G, Rubbioli E L & Senna L. 1999. Gruta do Centenário, Pico do Inficionado (Serra da Caraça), MG. A maior e mais profunda caverna quartzítica do mundo. pp. 431-441. In: Sitios geológicos e paleontológicos do Brasil.
- Martín-Duque J F, Caballero J & Carcavilla L. 2010. Información geomorfológica útil para la ordenación de espacios naturales. El caso de Covalagua y Las Tuerces (Palencia). Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. 104(1-4): 71-92. Sección Geológica.
- Moreno A, Belmonte A, Bartolomé M, Sancho C, Oliva B, Stoll H, Edwards L R, Cheng H & Hellstrom J. 2013. Formación de espeleotemas em el noreste peninsular y su relación com las condiciones climáticas durante los últimos ciclos glaciares. Cuadernos de Investigación Geográfica. 39(1): 25-47.
- Ortega J A & García J M. 2010. Ríos en roca en los Pirineos. pp. 211-248. En: Ortega J A & Durán J J (eds.) Patrimonio geológico: Los ríos en roca de la Península Ibérica. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie Geología y Geofísica, 4.



- Pereira P, Brilha J, Pererira D I. 2007. Particularidades do patrimonio geológico em áreas cársticas. pp. 25-26. En: Brandao J M, Sá F & Calado C (eds.) Actas del Simpósio Ibero-americano sobre Património Geológico, Arqueológico e Mineiro em Regioes Cársticas.
- Perşoiu A & Onac B P. 2012. Ice in caves. pp. 399–404. In: White W B & Culver D C (eds.) Encyclopedia of Caves, Elsevier.
- Piccini L. 1995. Karst in siliceous rocks: karst landforms and caves in the Auyan-tepuy (Est. Bolívar, Venezuela). *International Journal of Speleology*. 24(1-4): 41-45.
- Pulido A. 1993. Sobreexplotación y contaminación de acuíferos. pp. 75-92. En: Ortiz R (ed.) Problemática geoambiental y desarrollo. V Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, Murcia.
- Rico-Herrero M, Sancho-Marcén C, Arenas-Abad M. C, Vázquez-Úrbez M & Valero-Garcés B L. 2013. El sistema de barreras tobáceas holocenas de Las Parras de Martín (Cordillera Ibérica, Teruel). *Cuadernos de Investigación Geográfica*. 39(1): 141-158.
- Robledo P A & Durán J J. 2011. Geoturismo y cavidades: perspectiva en las Islas Baleares, España. ANAIS do 31º Congresso Brasileiro de Espeleologia Ponta Grossa-PR, 21-24 de julho de 2011 – Sociedade Brasileira de Espeleologia.
- Robledo P A, Durán J J, Garay P & García J. 2009. 8310 Cuevas no explotadas por el turismo. 53 pp. En: VV.AA. Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid.
- Robledo P A. 2015. Una panorámica de las mayores redes kársticas del Planeta. Conferencia en el Club del Agua Subterránea. Madrid.
- Sancho C, Arenas C, Pardo G, Vázquez M, Hellstrom J, Ortiz J E, Rhodes E J, Osácar M C & Auqué L. 2010. Ensayo cronológico de las tobas cuaternarias del río Piedra (Cordillera Ibérica). *Geogaceta*. 48: 31-34.
- Striebel T. 1996. The Genetic Classification of some Types of Non-Karstic Caves. Proceeding of International Working Meeting "Preserving of Pseudokarst Caves", Rimavska Sobota (Slovakia), Salgotarjan (Hungary).
- Unzué F, Manuel A & Argumosa A. 2011. La recuperación de El Soplao. pp. 47-51. En: Durán J J (ed.) El Soplao: una ventana a la ciencia subterránea. Consejería de Cultura, Turismo y Deporte del Gobierno de Cantabria.
- Vaqueiro-Rodríguez M. 2003. Caracterización de cavidades de bloques graníticos y cuevas estructurales de Vigo-Tui (Galicia, España). Análisis morfoestructural del sistema de O Folón. *Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe Coruña*. 28: 231-262.
- Vázquez-Navarro J, Vázquez Á & Carcavilla L. 2014. Caracterización general y distribución espacial. pp. 104-118. En: González J A & González M J. (eds.) Las tobas en España. Sociedad Española de Geomorfología.
- Vidal J R. 1989. Geomorfología granítica en Galicia (NW España). *Cuaderno Laboratorio Xeolóxico de Laxe*. 13: 89-163. Edicións O Castro. A Coruña.
- Watson J, Hamilton-Smith E, Gillieson D & Kiernan K. 1997. Guidelines for cave and karst protection. UICN. 65 pp.



Willems L, Compère Ph, Hatert F, Pouclet A, Vicat J P & Boulvain C E F. 2002. Karst in granitic rocks, South Cameroon: cave genesis and silica and taranakite speleothems. *Terra Nova*. 14: 355–362.

Williams P. 2008. World Heritage Caves and Karst. A thematic Study. IUCN Report. 34 pp.

Wray R A L. 2013. Solutional weathering and karstic landscapes on quartz sandstones and quartzite. pp. 463–483. In: Shroder J (ed. in Chief), Frumkin A (ed.) *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA, vol. 6, Karst Geomorphology,



ANEXO I. Descripción de métodos para estimar las tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' para al menos el tipo de hábitat de interés comunitario 8310

I.1. Introducción

La delimitación de la superficie ocupada por cavidades no explotadas por el turismo (THIC 8310 Cuevas no explotadas por el turismo) del anexo I de la Directiva Hábitats³ se puede calcular atendiendo a tres parámetros:

- Topografía del interior de la cavidad.
- Delimitación del área que ocupa la cueva en superficie.
- Delimitación de los perímetros que afectan en niveles diferentes al geosistema y ecosistemas de las cuevas.

Los procedimientos para medir cada uno de estos parámetros se han descrito en el apartado 2 de este trabajo.

I.2. Cálculo de tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada'

Las tasas de cambio analizadas en dos ejemplos pilotos muestran cifras muy particulares y con un incremento de superficie de al menos dos órdenes de magnitud.

Por ejemplo, en la Cova des Pas de Vallgornera, desde la primera medida, la superficie ocupada ha variado en más de 10 km² sobre el terreno y en más de 20 km de galerías topografiadas. Sin embargo, este aspecto no muestra la realidad de la superficie ocupada susceptible de ser protegida, cuyos cambios de órdenes dependerán de los perímetros necesarios para mantener intacta la cavidad (Figuras I.1 y I.2).

³ Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la flora y fauna silvestres

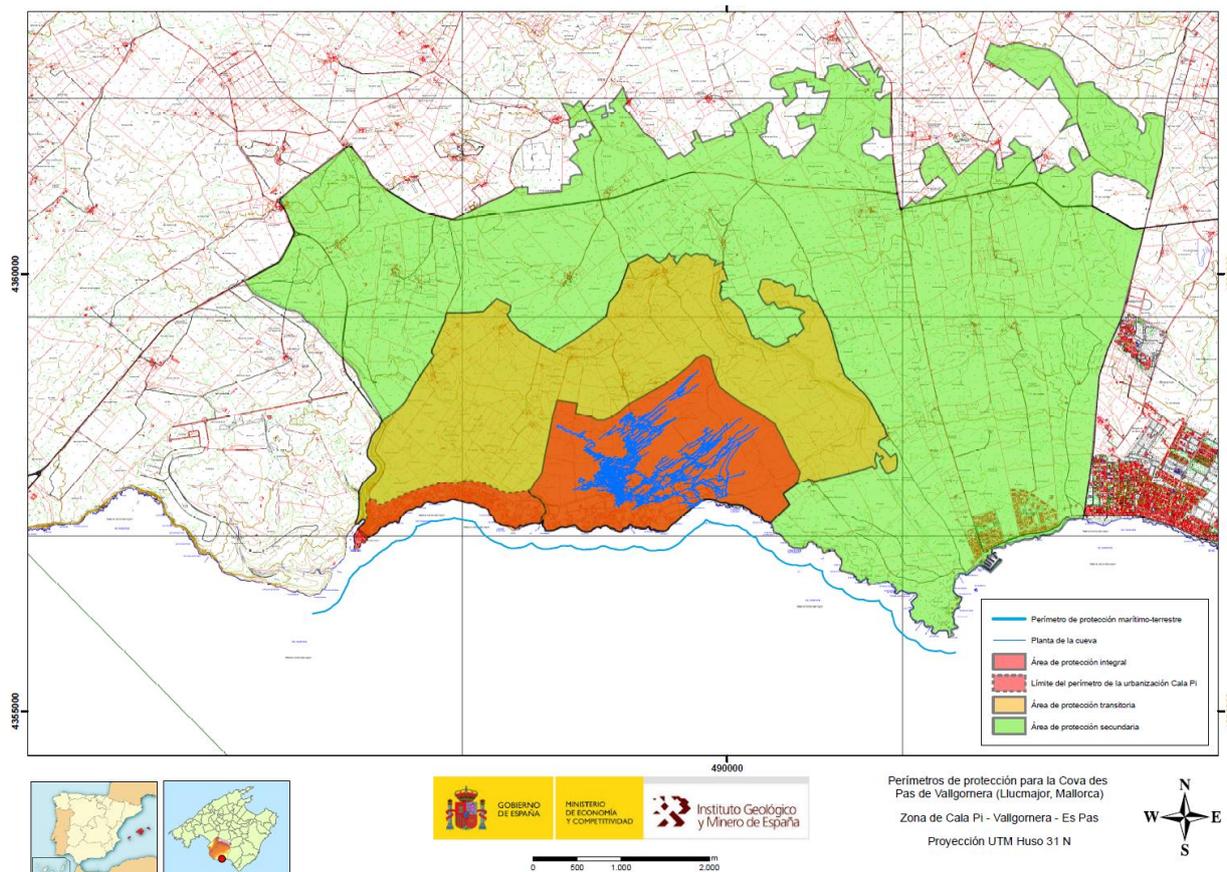


Figura I.2 Ejemplo de superficies para la protección de la cueva kárstico-litoral de la Cova des Pas de Vallgornera (Mallorca) según la propuesta hecha en el apartado 2 de este trabajo. Fuente: extraída de Robledo (2014).

I.3. Referencias

BOIB. 2015. Decreto 14/2015, de 27 de marzo, por el que se aprueban cinco planes de gestión de determinados espacios protegidos red Natura 2000 de las Illes Balears. BOIB Núm. 51. 9 de abril. http://www.caib.es/eboibfront/es/2015/10279?&p_numero=10279.

Robledo P A. 2014. Informe para la delimitación del perímetro de protección de Lugar de Interés Comunitario (LIC) "Cova des Pas de Vallgornera", Llucmajor, Mallorca, Islas Baleares. Instituto Geológico y Minero de España. 89 pp.