



# ESTABLECIMIENTO DE UNA TIPOLOGÍA DE UNIDADES GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS INCLUIDAS EN EL TÉRMINO CUEVA O CAVIDAD *SENSU LATO*

Pedro A. Robledo  
Juan José Durán  
Eulogio Pardo-Igúzquiza







ESTABLECIMIENTO DE UNA TIPOLOGÍA DE  
UNIDADES GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS  
INCLUIDAS EN EL TÉRMINO CUEVA O CAVIDAD  
*SENSU LATO*





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 Martín<sup>1</sup>

#### **Realización y producción**

Tragsatec

#### **Coordinación general**

Elena Bermejo Bermejo<sup>2</sup> y Juan Carlos Simón Zarzoso<sup>2</sup>

#### **Coordinación científica**

Pedro A. Robledo Ardila<sup>3</sup>

#### **Autores**

Pedro A. Robledo Ardila<sup>3</sup>

Juan José Durán Valsero<sup>3</sup>

Eulogio Pardo-Igúzquiza<sup>3</sup>

#### **Coordinación y revisión editorial**

Jara Andreu Ureta<sup>2</sup>

Íñigo Vázquez-Dodero Estevan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental. Ministerio para la Transición Ecológica

<sup>2</sup> Tragsatec, Grupo Tragsa

<sup>3</sup> 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. Establecimiento de una tipología de unidades geológicas y geomorfológicas incluidas en el término cueva o cavidad *sensu lato*. Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 26 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

<b>1. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....</b>	<b>7</b>
1.1. Características principales.....	7
1.2. Distribución geográfica.....	10
1.3. Tipos y subtipos.....	12
1.3.1. Factores intrínsecos.....	13
1.3.2. Factores extrínsecos.....	15
1.3.3. Subtipos.....	17
<b>2. CLASIFICACIÓN DE LAS CAVIDADES EN ESPAÑA.....</b>	<b>17</b>
<b>3. REFERENCIAS.....</b>	<b>21</b>
Bibliografía adicional de interés.....	22





## 1. ESTADO DE LA CUESTIÓN

### 1.1. Características principales

Los sistemas terrestres hipogeos continentales (cuevas) se pueden definir desde diferentes perspectivas: geológica, geomorfológica, antropocéntrica, económica, utilitaria o por sus formas o productos. La definición genérica de cavidad es un nicho, grieta, cámara o un sistema o serie de cámaras y galerías de proyección horizontal o vertical bajo la superficie de la tierra con unas dimensiones mínimas de longitud, altura y volumen. Las cuevas son, por tanto, una expresión geomorfológica e hidrogeológica del medio rocoso controlada por los fenómenos extrínsecos e intrínsecos, esto es; litológicos estructurales, geoquímicos, edafogenéticos y climáticos. No obstante, se puede entender por cueva, o caverna, toda cavidad natural del subsuelo, accesible o no, y sin importar sus dimensiones, disposición, origen o litología afectada (Renault 1987).

El principal problema de esta definición es que incluye como cuevas cualquier poro de una roca, lo que puede llevar a confusión. Por ello, una definición más práctica en este caso sería considerar un tamaño mínimo de la cavidad para ser considerada como cueva, de modo que debería ser accesible a que pudiese acceder por lo menos una persona de tamaño mediano. Obviamente, esta restricción debe ser flexible ya que las cuevas de menor tamaño se podrían explorar con pequeños equipos remotos y teledirigidos. A este tipo de cuevas de pequeño tamaño se le ha llamado proto-cuevas (Field 2002). En cualquier caso, la acepción que aquí se adopta es más general y una cueva puede ser una simple cavidad en el subsuelo, a un simple conducto alargado, o formar toda una red de conductos de decenas de kilómetros, con pozos, meandros, gateras, salas, galerías, lagos y sifones (Martínez-Hernández 2012). En España, la entrada vertical a una cueva se la conoce como sima (*pothole*), pero dicha distinción no es internacional y el nombre genérico de cueva puede abarcar todos los casos.

Son mayoritarias las que se desarrollan en rocas carbonáticas y evaporíticas, aunque existen ejemplos en rocas metamórficas (cuarcitas) y volcánicas. La mayoría de las cavidades, además, se caracterizan por presentar elementos y procesos particulares, como espeleotemas (depósitos de precipitación química), minerales, fósiles, multiniveles y flujos de aguas permanentes o intermitentes, turbulentos o difusos.

En nuestro planeta, la mayoría de las cuevas se asocian con el karst, un tipo de geomorfología tanto en superficie como subterránea que se desarrolla principalmente en rocas carbonatadas (calizas, dolomías, mármoles o brechas carbonatadas). Estas rocas son solubles a un agua de lluvia que se vuelve ligeramente ácida al  $\text{CO}_2$  de la atmósfera y del suelo. Por consiguiente, al infiltrarse hacia el interior del macizo carbonático va ampliando por disolución los poros, fallas, fracturas y fisuras por las que circula. En la actualidad, son muy numerosos los sistemas kársticos en España con miles de kilómetros de conductos kársticos ya explorados, a los que se unen los que no son kársticos. El interés de estas cuevas en terrenos kársticos, es básicamente que se ubican importantes acuíferos, que albergan una fauna y flora troglodita única que contribuye a incrementar la biodiversidad (Cano & Martínez 1999) y la geodiversidad. Hay floras endémicas asociadas exclusivamente a la entrada de las cuevas (Serrano-Germes 1981) y en las profundidades del karst se pueden encontrar microorganismos que pudieran tener importancia futura en muchas vertientes (Barton *et al.* 2004), en medicina y farmacología por ejemplo. Además, todas las cavidades tienen un interés científico ya que se puede obtener una importante información en las mismas biótica y/o abiótica. No menos importante resultan las cuevas para la arqueología, la prehistoria y la paleontología humana, por los importantes descubrimientos que



se han efectuado y se siguen efectuando en las mismas (Stringer & Andrews 2005). No hay que olvidar tampoco que en las cuevas se han encontrado las primeras manifestaciones humanas del arte (Leroi-Gourhan 1984) y diversos ritos antropológicos (funerarios, religiosos, de iniciación, entre otros.).

Por una parte y solo a modo de ejemplo, surgen ahora las cuevas extraterrestres que se contemplan como un posible refugio para futuras misiones tripuladas a Marte, y por otra parte tienen una gran importancia científica pues se las considera como lugares idóneos para buscar indicios de vida presente o pasada (Pardo-Igúzquiza & Robledo 2016).

Las cuevas no explotadas por el turismo son aquellas que, en la actualidad, no presentan actividad continua de presencia humana y, por tanto, no existen elementos antrópicos activos de habilitación para acoger a grupos de visitantes no especializados. No obstante, también se incluyen en este apartado las cavidades que, aunque puedan ser turísticas tienen algunas de sus partes intactas. También, algunas minas abandonadas están incluidas en este apartado, ya que se han detectado especies animales o vegetales que han colonizado estos ambientes, especialmente especies de quirópteros. Incluso las mineralizaciones han dado lugar a vida microscópica hasta ahora desconocida y que enriquece este tipo de hábitat tan singular.

Las cuevas de este apartado pueden estar desarrolladas en cualquier litología como se ha comentado, pero destacan sobremanera aquellas ubicadas en terrenos kársticos (de carbonatos y evaporitas) y, por tanto, tiene una relación directa y estrecha con el sistema hidrogeológico regional, no en vano, forman parte directa del acuífero. Este tipo de cuevas pueden presentar un flujo de agua difuso o turbulento, intermitente o permanente, y acogen especies muy adaptadas al medio subterráneo, algunas de ellas endémica de fauna y flora, y por tanto sustento de ecosistemas y geoisotermas únicos en la región europea.

Entre la flora típica de estas zonas destacan especies de musgos como *Schistostega pennata* y de algas, que se ubican fundamentalmente en la boca de las cavidades, pero también microorganismos como bacterias y microbios que pueden jugar un papel fundamental para el sustento del geosistema. También, se ha catalogado un tipo de fauna cavernícola muy adaptada. Se trata de especies de invertebrados, mayoritariamente, que viven únicamente en cavidades, ya sea en la zona terrestre de la cueva o bajo aguas almacenadas a modo de lagos endokársticos. Entre los invertebrados terrestres destacan los coleópteros, particularmente las familias de *Bathysciinae* y *Trechinae*, con una distribución geográfica muy específica.

Con respecto a los invertebrados acuáticos, es importante destacar que suele ser una fauna endémica, dominada por crustáceos (*Isopoda*, *Amphipoda*, *Syncaerida*, *Copepoda*), y en la que se incluyen algunas especies que habitan estos lugares desde hace varios cientos de miles de años. Otras especies de moluscos como *Hydrobiidae* pueden encontrarse de forma puntual.

Con respecto a los vertebrados, las cavidades constituyen lugares de hibernación para un gran número de especies de murciélagos, algunas de las cuales están amenazadas de extinción. Otras especies pueden convivir juntas en la misma cavidad. Las cuevas también son cobijo de algunos anfibios poco comunes como el *Proteus anguinus* además de especies como *Speleomantes genus*.

No obstante, las cuevas se deben entender como ambientes en los que se conjugan diferentes procesos como los geológicos, geomorfológicos o hidrogeológicos, entre otros. Y como elementos del patrimonio arqueológico y mineralógico, puesto que en ellas se han documentado muchas de las especies de homínidos del Planeta (Atapuerca, entre otras) y se catalogan permanentemente nuevas



especies minerales. En las cavidades deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos en relación a su enfoque ecosistémico:

- El tipo de hábitat no se limita estrictamente a la cueva, sino también a los tipos de flujos de agua (turbulentos o difusos) y a las zonas inundadas del interior de la cavidad, que pueden representar un tipo de hábitat distinto. Por lo tanto, se pueden diferenciar dos tipos de hábitat en el interior de una cavidad: tipo de hábitat subaéreo y submarino, con las connotaciones intrínsecas. Además, existen especies cuyo hábitat es mixto, puesto que viven parcialmente en ambos ambientes.
- La relevancia de este tipo de hábitat se centra bien en la presencia de especies típicamente cavernícolas (altamente endémicas o especializadas), como las especies del anexo II de la Directiva Hábitats<sup>1</sup>, particularmente murciélagos (donde las cuevas pueden ser tanto lugares de cría como de refugio) o anfibios (como el paradigmático *Proteus anginus* de los ríos subterráneos de Eslovenia).
- Por muy interesantes que pudieran ser, las cuevas habilitadas para el turismo quedan claramente fuera del alcance de la Directiva Hábitats, a pesar de que muchas cuevas turísticas contienen fauna troglobia y stigobia, o albergan colonias de murciélagos o poblaciones de anfibios, como sucede con la famosa cueva de *Postojna Jama* en Eslovenia.
- Se debe entender que el término cueva, se aplica de una manera amplia y genérica (en inglés *cave*, en francés *gouffre*, en esloveno *jama*), y por lo tanto se incluyen también las simas y otras cavidades que también reciben otras denominaciones particulares: torcas, sumideros, surgencias; en definitiva cuevas *sensu lato*.
- Las cuevas continentales incluyen los lagos y flujos de agua de su interior, que albergan especies cavernícolas, especialmente fauna, altamente especializada o endémica.
- Aunque es posible encontrar cuevas y oquedades en todo tipo de sustratos compactos, son mucho más abundantes en los macizos kársticos desarrollados sobre sustratos como yesos, calizas y dolomías, entre otros.

Estos ambientes tan especiales son más frecuentes en España en los tramos carbonáticos de las grandes cordilleras (Pirineos, cordillera Cantábrica), así como en las sierras y montañas del este y del sur de la Península, Baleares y Canarias. El medio cavernícola se caracteriza por la falta de luz, por lo que los organismos fotosintéticos quedan relegados a las entradas de las cavidades. En estas bocas se pueden encontrar algunas plantas vasculares propias de roquedos y que requieren ciertas condiciones de humedad ambiental (como algunos helechos: *Phyllitis*, *Polypodium*, etc.), así como musgos y algas tapizantes. Las plantas vasculares quedan relegadas a la zona de la cavidad que recibe más luz, mientras que los musgos y sobre todo los tapetes algares verdosos pueden llegar más al interior, desapareciendo finalmente todo rastro vegetal con la pérdida progresiva de luminosidad.

Uno de los aspectos más interesantes de este medio es la fauna altamente especializada que cobija. La fauna residente en las cuevas está constituida principalmente por invertebrados terrestres o acuáticos, sobresaliendo algunos grupos de coleópteros, crustáceos, arácnidos y moluscos, con especies de distribución muy restringida o endémica como consecuencia del carácter aislado y restrictivo de este

---

<sup>1</sup> 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



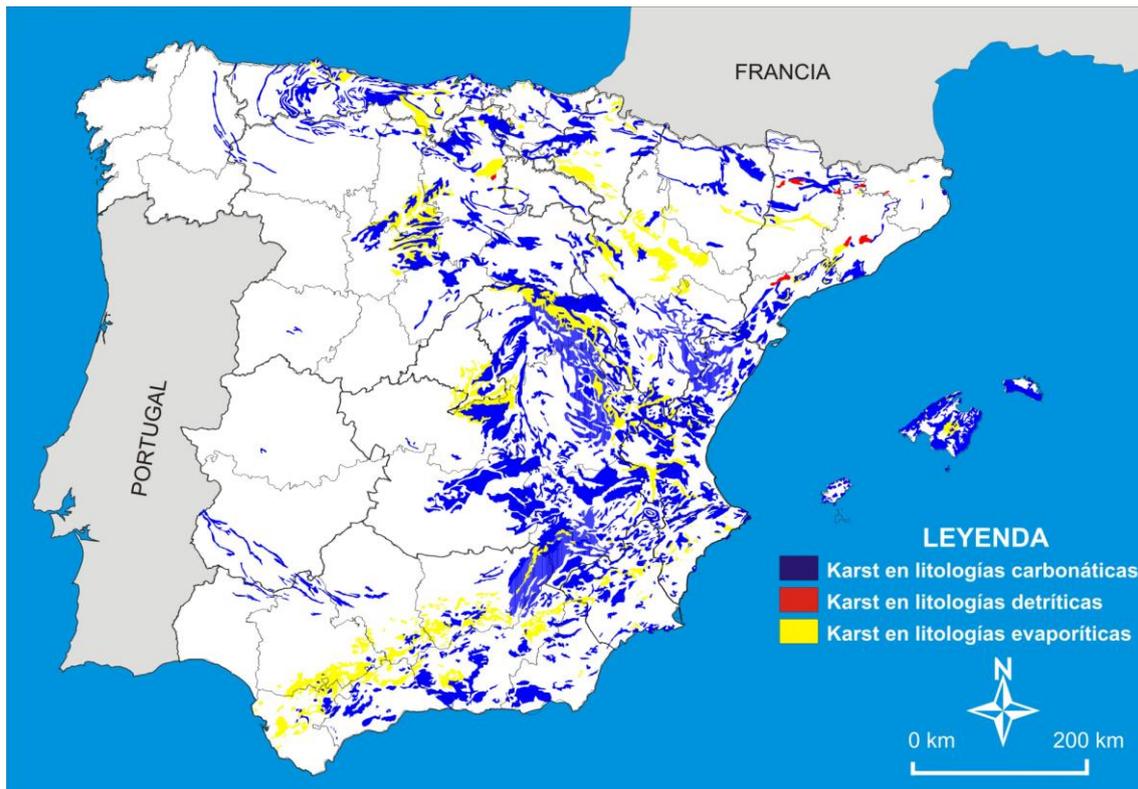
tipo de hábitat. Entre los vertebrados destacan los murciélagos, que utilizan las cuevas como refugios invernales o para instalar en ellas sus colonias de cría. Se trata de animales muy vulnerables, con varias especies incluidas en el anexo II de la Directiva Hábitats, y de biología aún insuficientemente conocida, circunstancias que aumentan el valor de las cuevas como tipo de hábitat de interés comunitario (THIC).

No obstante, una cavidad no suele ser una forma geológica independiente, sino que, en la mayoría de ejemplos, forma parte de un sistema complejo en el que se conjugan procesos, formas y productos que lo hacen especialmente singular y donde el agua es el motor que controla todo el sistema. Las cavidades pueden presentar un amplio abanico de formas en planta y en sección; pueden ser de desarrollo horizontal o vertical, con varios niveles de desarrollo y, en ocasiones, con flujos de agua más o menos permanentes que circulan por sus conductos. Pueden estar salpicadas por una gran variedad de formas de precipitación química como estalagmitas o estalactitas, una mineralogía diversa y diferentes formas de disolución.

## **1.2. Distribución geográfica**

La distribución espacial de las cuevas en España coincide casi en su totalidad con la distribución de las rocas carbonáticas y evaporíticas, siendo casos puntuales las cavidades en rocas metamórficas (desarrolladas en cuarcitas), o en rocas ígneas como los ejemplos las islas Canarias. Las cavidades se distribuyen mayoritariamente en la franja norte por las cordilleras Cantábrica y Pirenaica, hacia el este en la cordillera Costero Catalana y parte del macizo Ibérico central, y hacia el sur en las cordilleras Béticas y cuencas Terciarias, aparte de en el conjunto de las islas Baleares y Canarias. El mapa del karst de España elaborado por Durán & López-Martínez (1989) constituye una excelente herramienta de aproximación a la realidad de la distribución de los sustratos que albergan el tipo de hábitat objeto de estudio.

Las cuevas desarrolladas en rocas carbonáticas y evaporíticas están vinculadas en su mayor parte a la zona vadosa de acuíferos o, en algunos casos concretos (fundamentalmente en acuíferos costeros), al contacto con la superficie del nivel freático. En general están asociadas a macizos carbonáticos del Jurásico y el Cretácico, o plataformas carbonatadas del Mioceno superior y Plioceno, aunque en casos puntuales se observan en otras litologías, como ya se ha mencionado. En el caso de algunas cavidades, tanto continentales como litorales, pueden observarse surgencias, aunque con menor presencia en la zona atlántica interior y gran abundancia en la zona mediterránea y las islas Baleares. Entre las comunidades autónomas con mayor presencia de cavidades (en número y desarrollo en el subsuelo), tanto continentales como litorales, destacan Cantabria, Principado de Asturias, Castilla y León, Andalucía, Islas Baleares, Castilla-La Mancha, Comunitat Valenciana y, en menor medida, Región de Murcia y Canarias. Otras comunidades autónomas como Extremadura, País Vasco, Galicia, Comunidad de Madrid o La Rioja también albergan cavidades, pero estas suponen solo un pequeño porcentaje del total (Figura 1).



**Figura 1** Mapa del karst en España. Zonas donde se ubica el mayor porcentaje de cuevas en España debido a las litologías solubles que forman el sustrato. Fuente: extraída de Durán & López-Martínez (1989).

A pesar del conocimiento del mayor número de cavidades en la mitad oriental de la península ibérica (incluyendo las islas Baleares), todavía no existe en España un inventario de cavidades no explotadas por el turismo que sirva como eje de referencia y base documental para la realización de una cartografía eficiente. A ello se suman las dificultades propias de este tipo de hábitat a la hora de inventariar y cartografiar los sistemas geoambientales, ya que la gran mayoría de los sistemas endokársticos se suceden tanto en rocas solubles (cavidades kársticas) como en otras litologías (pseudokarst), con infinidad de sistemas puntuales de pequeña entidad que hacen muy complicada su cartografía o incluso su catalogación. Por último, destaca la complicación añadida de explorar e inventariar un tipo de hábitat en el subsuelo. Este aspecto es determinante, puesto que, como ponen de relieve los especialistas y grupos de espeleología nacionales en algunas de sus publicaciones, existe todavía un número muy elevado de cavidades sin explorar y, por tanto, susceptibles de no ser catalogadas y cartografiadas en la ficha objeto de análisis.

La metodología de trabajo que se plantea para realizar una primera aproximación al inventario de cuevas no explotadas por el turismo en España, pasa por (1) la revisión del Mapa del Karst en España, publicado por Durán & López-Martínez (1989), y su conversión a escala 1:200.000, y (2) la creación de un banco de datos (ENDOBANC) donde se almacenen todas aquellas cavidades inventariadas por grupos locales de espeleología, universidades u organismos de investigación, que permita su georreferenciación y almacenamiento continuo, como base para su posterior cartografía en mapas geológicos de la Serie Magna publicados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) e hidrogeológicos a escala 1:50.000 y disponibles en formato electrónico (cartografía digital disponible en la página web del IGME).



Otra información fundamental es la tipología de los sistemas endokársticos dependiendo de: (a) su región climática; (b) composición geoquímica de la roca encajante; (c) su interrelación con seres vivos; y (d) la influencia de las actividades humanas:

- a) Los ecosistemas endokársticos se pueden clasificar en varios tipos según la región climática y geográfica donde se localicen. Por ello, para conocer los mecanismos de formación, se han distinguido entre aquellos situados en regiones tropicales, subtropicales, mediterráneas, de Gondwana, áridas, semiáridas y de otras regiones.
- b) Los ecosistemas kársticos también se pueden comparar a partir de la influencia de la composición geoquímica de las rocas carbonatadas en la selección de especies y en la biodiversidad.
- c) Los ecosistemas kársticos subterráneos han sido determinantes y diferentes entre ellos, en la evolución de las especies trogloditas y su relación con las de la superficie.
- d) También interesa la relación que existe entre los ecosistemas endokársticos y las actividades humanas. El impacto del ecosistema en la agricultura, el impacto de las actividades humanas (urbanizaciones, canteras, minería, agricultura, y otros.).

### 1.3. Tipos y subtipos

Los factores que definen los tipos de cavidades no explotadas por el turismo se ajustan, casi en su totalidad, a los factores biofísicos que condicionan el desarrollo de cavidades kársticas. Los procesos de karstificación, y con ellos la formación de cavidades están controlados por la litología, la estructura (fracturación y plegamiento, entre otros), la vegetación, la presencia de agua y el tiempo de exposición de la roca.

No obstante, es necesaria la conjunción de todos los factores para que pueda darse el proceso químico que da lugar a la disolución y/o precipitación de carbonato. Desde el punto de vista químico, la caliza está compuesta principalmente por carbonato cálcico,  $\text{CaCO}_3$ . Si el contenido en  $\text{CaCO}_3$  es inferior al 60 %, difícilmente se podrán desarrollar cavidades ya que, o bien la porosidad se colmatará por los materiales insolubles que contiene la propia roca, como son las arcillas de descalcificación, o no tendrán la suficiente entidad para ajustarse a la definición de cavidad. Por ello, los factores se pueden dividir en intrínsecos y extrínsecos (Figura 2). Los factores intrínsecos son aquellos que dependen de las propiedades de la roca donde se desarrolla el karst. La litología, la porosidad y la permeabilidad son los más destacables, aunque la estructura y la estratigrafía son también importantes. Los factores extrínsecos son los agentes externos que condicionan la evolución del proceso kárstico. El factor extrínseco más importante es el clima, ya que determina la temperatura, precipitación y evaporación. Estos factores, conjuntamente con los que determinan el nivel de base y su fluctuación, ejercen un control en la ubicación de la zona vadosa y freática.

La vegetación (también directamente relacionada con el clima) es otro factor de significativa importancia, sobre todo en su papel de productor de  $\text{CO}_2$ . El tiempo de duración de la exposición subaérea de la roca también es relevante y objeto de análisis.



**Figura 2** Factores biofísicos que controlan el desarrollo de una cavidad. Fuente: extraída de Robledo *et al.* 2009.

### 1.3.1. Factores intrínsecos

#### La litología de las rocas karstificables

La evolución genética del proceso kárstico está directamente relacionada con la capacidad que tienen algunas rocas de reaccionar ante determinados elementos y ser disueltas. Solo un grupo reducido de rocas como las carbonatadas (calizas y dolomías), las evaporitas (yeso, anhidrita, sales y otras) y las cuarcitas (solo bajo condiciones tropicales) se adecuan a estas características y pueden derivar en formas o paisajes kársticos.

#### Rocas carbonatadas

La importancia de las rocas carbonatadas en la karstificación no solo es significativa por la capacidad de disolución, sino también por su volumen en la corteza terrestre. Más de un 12% de estos materiales afloran en la superficie terrestre (siendo más importantes en el hemisferio norte) y constituyen almacenes de agua del 25% de la población mundial (Ford & Williams 2007). Las rocas carbonatadas están compuestas por dos subgrupos importantes como son las calizas y las dolomías (Tabla 1). Desde un punto de vista mineralógico, están constituidas por fases estables (calcita y dolomita) y por fases inestables (aragonito y calcita magnesiana). Estas últimas fases son muy abundantes en los sedimentos carbonatados recientes, pero tienden a transformarse en calcita y dolomita cuando el sedimento se transforma en roca, debido a los procesos de diagénesis y litificación. Esta estabilización mineralógica da lugar a un cambio de los tipos de porosidad y su distribución así como en la permeabilidad. Esta estabilización es más rápida en sedimentos de grano fino y bajo un clima húmedo.



**Tabla 1** Roca y mineral de los subgrupos más importantes de las rocas carbonatadas. Fuente: extraída de Robledo *et al.* 2009.

Roca	Mineral	Fórmula química
Caliza	Calcita	CaCO <sub>3</sub>
Dolomía	Dolomita	CaMg(CO <sub>3</sub> )

Las calizas y dolomías son rocas que poseen propiedades kársticas debido a que son solubles en presencia de CO<sub>2</sub> y agua. Se diferencian en la susceptibilidad a ser disueltas en distintas condiciones (Tabla 2). La caliza es generalmente más soluble, sobre todo bajo climas templados.

**Tabla 2** Propiedades de las rocas carbonatadas ante determinados elementos. Fuente: extraída de Robledo *et al.* 2009.

Propiedades	Caliza pura Calcita (CaCO <sub>3</sub> )	Dolomía pura Dolomita (CaMg(CO <sub>3</sub> ))
Densidad g/cm <sup>3</sup>	2,9	2,7
Resistencia a la presión (kp/cm <sup>2</sup> )	340-3400	620-3670
Solubilidad en frío en ácido hidroclicóridico	Alta	Baja
Solubilidad en caliente en ácido hidroclicóridico	Alta	Baja
Solubilidad en ácido acético	Alta	Sin reacción

### Las rocas evaporíticas

Las evaporitas son un tipo de roca que se forma principalmente en climas áridos. Dependiendo de la composición y solubilidad de los iones se forman sulfatos (yeso, anhidrita) o cloruros (halita, silvina). Las más frecuentes son los yesos. En algunas zonas de la península ibérica hay grandes formaciones yesíferas que comúnmente se encuentran karstificadas. En ellas se han descrito grandes cavidades como en los yesos miocenos de Sorbas (Almería).

### Las rocas cuarcíticas

Las cuarcitas constituyen un caso especial, y hasta hace poco no eran consideradas como rocas karstificables por su baja solubilidad. Contrariamente a lo que se pensaba, sí pueden ser disueltas bajo condiciones climáticas especiales o en medios con aporte de aguas termales. White (1988) ya describe algunas formas en Roraima, Guayana (al sureste de Venezuela) a las que denomina "Karst cuarcítico". White (1988) describe dicha cuarcita precámbrica como una roca compuesta de granos de cuarzo, con una matriz de sílice y cantidades inferiores al 5% de feldespato. Colveé (1973) describe una cavidad de grandes dimensiones al sureste de Venezuela desarrollada en unas facies cuarcíticas, Eraso & Taylor de Lima (1990) para el Grupo Itacolmi en las Minas de Gerais (Brasil) y Lario *et al.* (1990) en Aonda (Venezuela), realizan una aproximación al karst en cuarcitas describiendo importantes sistemas endokársticos.



## La permeabilidad

La permeabilidad es un factor muy importante ya que determina la tasa de circulación de fluidos. La permeabilidad es la capacidad que tiene una roca de permitir el paso de un fluido (agua, petróleo, gas) en condiciones determinadas de presión y temperatura. Por tanto, las cavidades se pueden cuantificar en tanto en volumen de poro como en permeabilidad. Esta propiedad está gobernada por la ley de Darcy:

$$Q = K \times S \times P / \nu \times e$$

donde  $Q$  es el caudal en  $\text{cm}^3/\text{s}$ ,  $K$  es el coeficiente de permeabilidad absoluta,  $S$  es la sección de roca,  $P$  la presión,  $\nu$  la viscosidad del fluido, y  $e$  es el espesor de la roca.

La permeabilidad no está siempre directamente relacionada con el tamaño de los poros ni con la porosidad absoluta (volumen de la cavidad), sino con la conectividad que existe entre estos. Autores como Gillieson (1996) hacen hincapié en la importancia de las cavidades de gran tamaño como control del sistema hidrogeológico.

### 1.3.2. Factores extrínsecos

#### El clima

El clima es el factor del cual dependen la precipitación, la temperatura y la evaporación. Todos ellos mantienen una estrecha interrelación y a su vez son reguladores de otros elementos sustanciales en los procesos de karstificación como son el  $\text{CO}_2$  y en consecuencia la  $p\text{CO}_2$  (presión parcial de dióxido de carbono). Pero el factor climático no solo es importante en la zona más superficial, sino que en las zonas del subsuelo más profundas de la roca caliza también es un factor de control para los procesos de circulación de fluido y disolución.

El régimen climático determina los procesos de infiltración, disolución y precipitación tanto en la zona vadosa como en la zona freática, bajo la superficie de exposición subaérea. Los fenómenos de cementación en regiones áridas y semiáridas son más lentos debido a la escasez de precipitaciones. Ello significa que los cambios en la porosidad consecuencia de estos fenómenos son poco significativos. En las regiones templadas o tropicales donde las precipitaciones son más importantes, estos procesos se aceleran, siendo más significativos sobre los cambios de porosidad (Choquette & James 1987). Este hecho significa que el porcentaje de cementos es mayor para zonas situadas en climas templados y tropicales que en climas áridos o semiáridos.

#### La vegetación

La importancia de la vegetación en el proceso de karstificación deriva del hecho de ser el principal productor natural de  $\text{CO}_2$  y, en consecuencia, ejercer un control en la ocurrencia e intensidad de los procesos de disolución. La producción de  $\text{CO}_2$  es generada de forma directa debido al propio ciclo vital de las plantas y de forma indirecta por acumulación de materia orgánica, que será posteriormente descompuesta por microorganismos generando también  $\text{CO}_2$ . La interrelación de estos aspectos será relevante en las cantidades de  $\text{CO}_2$  producidas principalmente en el suelo y, por tanto, en los porcentajes de la  $p\text{CO}_2$ , factor crítico en los procesos de disolución de las rocas carbonatadas.



Por otra parte, la vegetación es un elemento que da lugar a procesos como la evapotranspiración, además de ser en algunas áreas un excelente regulador de la escorrentía superficial. Por tanto, el volumen de agua que pasa por un sistema depende de la vegetación, puesto que determinará la intensidad de los procesos hidrológicos (de infiltración o escorrentía), geomorfológicos (de erosión, transporte o deposición de materia) y geoquímicos (de disolución).

### El nivel de base y los cambios del nivel del mar

La importancia del concepto de nivel de base, así como los cambios del nivel del mar sobre la karstificación, ha sido destacada desde principios de siglo por autores como Davis (1976) y Ford & Williams (2007), entre otros.

El nivel de base en cavidades litorales está condicionado por las fluctuaciones del nivel del mar y las elevaciones tectónicas y, ambos a su vez, también ejercen un control sobre el nivel freático. El nivel freático es un factor clave en el desarrollo de un sistema de cavernas (Ford & Williams 2007), puesto que condiciona notablemente la naturaleza y evolución de la porosidad en las rocas carbonatadas y, en consecuencia, el tipo y tamaño de conducto (Ford & Williams 2007).

Las fluctuaciones del nivel del mar de alta frecuencia también influyen en el desarrollo hidrológico del karst controlado por la amplitud de los cambios y actuando de forma más intensa en las regiones litorales. Muchas estructuras endokársticas se encuentran en el registro geológico representando los ciclos de Milankovich. La precisión, oblicuidad y ciclos de excentricidad, son conocidos en la actualidad por ser importantes en el control de la deposición carbonatada como en la karstificación (Wright 1991). Este factor se verá más claro si se consideran los efectos de los diferentes órdenes de cambios del nivel del mar:

- Durante los pequeños órdenes de cambio (4º y 5º orden), el tiempo de residencia de los sedimentos carbonatados en la zona meteórica será relativamente corto. Tales caídas de pequeña escala generarán poco relieve y el flujo de las aguas meteóricas será muy pequeño, dando como resultado poca disolución y cementación. Este flujo será de tipo difuso y las oportunidades del desarrollo del karst serán menores.
- Durante el aumento progresivo de la amplitud de los cambios (2º y 3º orden), dichos efectos serán más significativos, reflejando largas exposiciones que incrementan el relieve y el flujo. Este pasará a ser de tipo conducto, ampliando las formas kársticas y desarrollando cavidades.

El grado de karstificación en función de los cambios del nivel de base y cambios del nivel del mar, está relacionado con el tipo de material depositado, periodo de exposición, clima, relieve y balance entre la elevación tectónica y la erosión. Las cavidades de mayor dimensión se desarrollan normalmente asociadas con algún control tectónico. Por ejemplo, Palmer (1989) apuntan que los principales sistemas endokársticos en Estados Unidos están relacionados con grandes discordancias, reflejando importantes procesos tectónicos. La tectónica juega, por tanto, desde un punto de vista global, un papel fundamental en el desarrollo de cavidades en rocas de cualquier litología, así como su implicación en otros fenómenos más locales, ya que da lugar a familias de fallas y fracturas que posteriormente facilitarán la circulación de agua a través de la roca.



### 1.3.3. Subtipos

No se considera conveniente el establecimiento de subtipos, ya que los procesos que condicionan la formación y el tipo de especies que colonizan son similares. Además, sería el mismo protocolo de actuación para la comprobación de su estado de conservación y la adopción de medidas a tomar.

## 2. CLASIFICACIÓN DE LAS CAVIDADES EN ESPAÑA

Aunque se ha apuntado algo sobre la clasificación de las cavidades, entendemos que el criterio de las cuevas debe ser básicamente funcional, donde efectivamente pueden acoger los sistemas propios del tipo de hábitat. Por tanto, se propone una clasificación ideal y otra práctica (Tabla 3 y 4).

**Tabla 3** Clasificación ideal de las cuevas. Fuente: elaboración propia.

CLASIFICACIÓN IDEAL DE LAS CUEVAS NO EXPLOTADAS POR EL TURISMO				
CON RELACIÓN HIDROGEOLÓGICA	TIPOS LITOLÓGICOS	SUBTIPO GEOGRÁFICO	CARACTERÍSTICAS	SIN RELACIÓN HIDROGEOLÓGICA
<b>EPIGÉNICAS</b> Desarrolladas por aguas meteóricas de precipitación y/o aguas de interfase dulce –salada	Carbonatos	Continental	Cavidades desarrolladas por la disolución de la roca a favor de fallas o fracturas o bien, controladas por litologías más solubles frente a otras menos solubles y sin presencia de relación hidrogeología marina por su lejanía de la costa.	<b>PESUDOKÁRSTICAS</b> Desarrolladas en otras litologías como lavas o cuyos procesos no están ligados a la disolución de la roca.
		Litoral		
	Evaporitas	Continental		
		Litoral		
<b>HIPOGÉNICAS</b> Desarrolladas por aguas termales procedentes de un acuífero profundo	Carbonatos	Continental	Cavidades desarrolladas por la disolución de la roca a favor de fallas o fracturas o bien, controladas por litologías y con una relación directa con un agua caliente que procede de un acuífero profundo.	<b>MINAS ABANDONADAS</b> Sistemas de galerías antrópicas y abandonadas que el tiempo de permanencia ha permitido que su sistema se comporte como una cavidad.
		Litoral		
	Evaporitas	Continental	Cavidades desarrolladas por la disolución de la roca a favor de fallas o fracturas o bien, controladas por litologías y con una relación directa con un agua caliente que procede de un acuífero profundo.	<b>CUEVA-MINA</b> Sistemas de galerías antrópicas y abandonadas en las que existe conexión directa entre una cueva y una mina, por causas naturales o no, que el tiempo de permanencia ha permitido que su sistema se comporte como una cavidad.
		Litoral		

Continúa en la siguiente página ►



CLASIFICACIÓN IDEAL DE LAS CUEVAS NO EXPLOTADAS POR EL TURISMO				
CON RELACIÓN HIDROGEOLÓGICA	TIPOS LITOLÓGICOS	SUBTIPO GEOGRÁFICO	CARACTERÍSTICAS	SIN RELACIÓN HIDROGEOLÓGICA
<b>MIXTAS</b> Desarrolladas entre aguas termales procedentes de un acuífero profundo y aguas epigénicas	Carbonatos	Continental	Cavidades desarrolladas por la disolución de la roca a favor de fallas o fracturas o bien, controladas por litologías más solubles y con una relación directa y cuyo desarrollo se debe, bien al agua a la mezcla de un agua con anomalía térmica y un agua dulce o, ha tenido una fase hidrotermal anterior o posterior a la meteórica ubicadas en un ambiente continental.	
	Evaporitas	Litoral	Cavidades desarrolladas por la disolución de la roca a favor de fallas o fracturas o bien, controladas por litologías más solubles y con una relación directa y cuyo desarrollo se debe, bien al agua a la mezcla de un agua con anomalía térmica y un agua dulce o, ha tenido una fase hidrotermal anterior o posterior a la meteórica ubicadas en un ambiente litoral.	

Esta clasificación, aunque detallada y precisa, se simplifica en la siguiente tabla con el fin de darle un uso práctico al seguimiento del estado de conservación en cavidades (Tabla 4).



**Tabla 4** Clasificación práctica para el seguimiento de cuevas como tipos de hábitat rocosos de interés comunitario.  
Fuente: elaboración propia.

CLASIFICACIÓN PRÁCTICA DE LAS CUEVAS NO EXPLOTADAS POR EL TURISMO					
CON RELACIÓN HIDROGEOLÓGICA	TIPOS GENERALES	POR SU LITOLOGÍA	POR SU DESARROLLO	SUBTIPO GEOGRÁFICO	CARACTERÍSTICAS
<b>EPIGÉNICAS e HIPOGENICAS</b> Desarrolladas por aguas meteóricas de precipitación, aguas de interfase dulce-saladas o aguas termales	Kársticas	Carbonatos	Horizontal	Continental	Cavidades desarrolladas por la disolución de la roca a favor de fallas o fracturas o bien, controlado por litología más solubles frente a otras menos solubles y sin presencia de relación hidrogeología marina por su lejanía de la costa.
			Vertical	Litoral	
		Evaporitas	Horizontal	Continental	
			Vertical	Litoral	
	Pseudokársticas y otras litologías	Conglomerados, cuarcitas o calacarenitas	Horizontal	Continental	
			Vertical	Litoral	
<b>ANTRÓPICAS</b>	Minas	Varios	Horizontal	Continental	Sistemas de galerías antrópicas y abandonadas en la que existe conexión directa entre una cueva y una mina, por causas naturales o no, que el tiempo de permanencia ha permitido que su sistema se comporte como una cavidad.
			Vertical	Litoral	



## Clasificación tipológica de cavidades

1. De acuerdo con su litología, kárstica o pseudokárstica:
  - a) Kársticas: carbonáticas, evaporíticas o cuarcíticas
  - b) Pseudokársticas: otras litologías (rocas ígneas, en hielo, etc.)
  - c) Minas
2. De acuerdo con el tipo de desarrollo:
  - d) Horizontal
  - e) Vertical
3. De acuerdo con su ubicación:
  - f) Cuevas de interior
  - g) Cuevas litorales (kársticas o marinas)
4. De acuerdo con su cota:
  - h) Cuevas alpinas
  - i) Cuevas mesoalpinas
  - j) Cuevas de baja cota
5. De acuerdo con la relación hidrogeológica de las aguas del acuífero:
  - k) Cuevas epigénicas (acuífero superficial)
  - l) Cuevas hipogénicas (acuífero profundo)
  - m) Cuevas mixtas (mezcla de ambas aguas)



### 3. REFERENCIAS

- Barton H A, Taylor M R & Pace N R. 2004. Molecular phylogenetic analysis of a bacterial community from an oligotrophic cave environment. *Geomicrobiology Journal*. 21: 11–20.
- Cano Z & Martínez J. 1999. *Las cuevas y sus habitantes*. Fondo de Cultura Económica, México, 168 pp.
- Colveé P. 1973. Espeleología Física: Cueva en cuarcitas en el cerro Autana, Territorio Federal Amazonas. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*. 4(1): 5-13.
- Davis R L & Johnson C R. 1989. Karst hydrology of San Salvador. In: Mylroie J E (eds.) *Fourth Symposium on Geology of Bahamas*. Bahamas, USA: 118-136.
- Durán J J & López-Martínez J. 1989. Perspectiva general del karst en España. pp. 13-28. En: Durán J J & López-Martínez J (eds.) *El karst en España*. Monografías nº 4. Sociedad Española de Geomorfología. Madrid.
- Eraso A & Taylor de Lima M. 1990. El Karst en Cuarcitas del Grupo Itacolomi, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil: Aplicación del Método de Predicción de Drenaje Subterráneo. *Boletín geológico y minero*. 101(2): 86-97.
- Field M S. 2002. *A lexicon of cave and karst terminology with special reference to Environmental karst hydrology*. National Center for Environmental Assessment, U.S. Environmental Protection Agency, Washington. 214 pp.
- Gillieson D S. 1996. *Caves: processes, development and management*. Cambridge, MA and Oxford: Blackwell. 324 pp.
- Lario J, Fernandez-Rubio R & Eraso A. 1990. Características geomorfológicas e hidroquímicas del karst en cuarcitas del Sistema Aonda (Venezuela). pp. 476-480. En: *Actas del V Congreso Español de Espeleología*. Camargo, Cantabria. Federación Española de Espeleología.
- Leroi-Gourhan A. 1984. *Arte y grafismo en la Europa prehistórica*. Colegio Universitario de Ediciones Istmo, Madrid. 326 pp.
- Martínez-Hernández J. 2012. *Manual de espeleología*. Ediciones Desnivel, Madrid. 309 pp.
- Palmer A N. 1989. Stratigraphic and structural control of cave development and groundwater flow in the Mammoth Cave region. pp. 293-316. In: White W B & White E L (eds.) *Karst Hydrology – Concepts from the Mammoth Cave Area*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Pardo-Igúzquiza E & Robledo P A. 2016. Cuevas kársticas y no kársticas: del subsuelo terráqueo a las cavidades extraterrestres. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 24(1): 35-41.
- Renault P. 1987. *La formación de las cavernas*. Ed. Orbis, 2ª edición, Barcelona, 125 pp.
- 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.
- Serrano-Germes A. 1981. Caracterización ecológica de *Phyllitis scopendrium* (L.) Newman orientado a su conservación en la Comunidad Valenciana. *Lapiaz*. Monográfico 5.6: 184 pp.
- Stringer C & Andrews P. 2005. *La evolución humana*. Akal Ediciones, Madrid. 240 pp.



White W B. 1988. *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. New York, University Press. 464 pp.

Wright V P. 1991. Palaeokarst: types, recognition, controls and associations. pp. 89–119. In: Wright V P, Esteban M & Smart P L (eds.) *Palaeokarsts and palaeokarstic reservoirs: Postgraduate Research for Sedimentology*, University of Reading, PRIS Contribution, 152.

## **Bibliografía adicional de interés**

Alonso J A, González J J, Ferreras R, Navarro F & Algaba. 1996. Estudio topográfico-espeleológico de la Cueva de Ribadesella y su relación con la Cueva de Tito Bustillo. Informe inédito. En: Blas Cortina M. A. *Cuevas prehistóricas de Asturias. Arte rupestre paleolítico*. Ediciones Trea, S. L. Consejería de Cultura del principado de Asturias. Gijón. 91 pp.

Alonso J L, García-Ramos J C & Gutiérrez M. 1999. Control estructural de la cavidad kárstica “La Cueva” (Ribadesella, Asturias). pp. 65–76. En: Andreo B, Carrasco F & Durán J J (eds.) *Contribución del estudio científico de las cavidades kársticas al conocimiento geológico*. Patronato de la Cueva de Nerja. Instituto de Investigación.

Alonso V & González J J. 1998. Presencia de hielo glacial en los Picos de Europa (cordillera Cantábrica). El helero del Jou Negro. *Cuaternario y Geomorfología*. 12(1-2): 35-44.

Ayala F J, Rodríguez-Ortiz J M, del Val J, Durán J J, Prieto C & Rubio J. 1986. Memoria del mapa del karst de España. Instituto Geológico y Minero de España. 68 pp.

Benavente J, Pulido A & Fernández R. 1986. Les grands caractères de l’hydrogéologie karstique dans les Cordillères Bétiques. *Karstologia mémoires*. 1: 87-99.

Calaforra J M. 1996. Contribución al conocimiento de la karstología de yesos. Tesis doctoral. Universidad de Granada.

Cañaveras J C, Sánchez-Moral S, Bedoya J, Soler V & Lario J. 2002. Estudios geomicrobiológicos en la Cueva de Altamira (Cantabria, N España). pp. 515-521. En: Carrasco F, Durán J J & Andreo B (eds.) *Karst and Environment*. Fundación Cueva de Nerja, Málaga.

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, 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.

Cendrero A & Díaz de Terán J R (coordinadores). 1987. *Guía de Excursiones*. VII Reunión sobre el Cuaternario. Santander. 115 pp.

Corrín J. 1992. Las cavidades principales en los montes alrededor de Matienzo (Ruesga, Cantabria). pp. 345-355. En: *Actas del V Congreso Español de Espeleología*. Camargo, Santander.

Dabrio C, Zazo C & Goy J. 1987. Pleistocene sealevel changes in the bay of Cádiz (SW Spain). En: Zazo C (ed.) *Late Quaternary sealevel changes in Spain*. *Trabajos sobre neógenocuaternario*. 10: 265282.



- Davis R L & Johnson C R. 1989. Karst hydrology of San Salvador. pp. 118-136. En: Mylroie J E (eds.) Fourth Symposium on Geology of Bahamas. Bahamas, USA.
- Davis S N & Weist R. 1971. Hidrogeología. Barcelona: Editorial Ariel. 325 pp.
- Del Val J & Hernández M. 1989. El karst en el macizo hespérico. pp. 217-229. En: Durán J J & López-Martínez J (eds.) El karst en España. Monografías nº 4. Sociedad Española de Geomorfología. Madrid.
- Delannoy J J & Díaz del Olmo F. 1986. La serranía de Grazalema (Málaga Cádiz). Karstologia Mémoires. 1: 55-70.
- Delannoy J J & Guendon J L. 1986. La sierra de las Nieves (Málaga). La Sima G.E.S.M. Etude géomorphologique et spéléologique. Karstologia Mémoires. 1: 71-85.
- Díaz del Olmo F & Delannoy J J. 1989. El karst en las cordilleras béticas: subbético y zonas internas. pp. 175-185. En: Durán J J & López-Martínez J (eds.) El karst en España. Monografías nº 4. Sociedad Española de Geomorfología. Madrid.
- Díaz del Olmo F, Baena R, Ruiz B & Álvarez G. 1992. La sequence tardiglaciaire-holocene du travertin de Priego de Córdoba. pp. 177-190. En: Karst et evolutions climatiques. Hommage a J. Nicod. Bordeaux: Presses Universitaires.
- Durán J J & Molina J A. 1986. Karst en los yesos del triás de Antequera (Cordilleras Béticas). Karstologia Mémoires. 1: 37-46.
- 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.). 2006a. Guía de las cuevas turísticas españolas. Asociación de Cuevas turísticas Españolas e Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 104 pp.
- Durán J J (coord.). 2006b. Islas de Agua. Patrimonio Geológico e Hidrogeológico de las Islas Baleares. Instituto Geológico y Minero de España; Conselleria de Medi Ambient de les Illes Balears. 256 pp.
- Durán J J. 1994. Cuevas habilitadas de la provincia de Málaga. Una introducción al turismo subterráneo. Diputación Provincial de Málaga. 58 pp.
- Durán J J. 1996. Los sistemas kársticos de la provincia de Málaga y su evolución: contribución al conocimiento paleoclimático del cuaternario en el Mediterráneo occidental. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 409 pp.
- Fernández A, Calaforra J M, Martín W & González M J. 2008. Cavidades turísticas de Andalucía. pp. 105-115. En: Calaforra J M & Berrocal J A (coord.) El Karst de Andalucía (geoespeleología, bioespeleología y presencia humana). Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, Sevilla.
- Fernández F & Valls M C. 1998. Los colores de la Oscuridad. Cantabria, paraíso subterráneo. Santander. 206 pp.
- Ford D C & Williams P W. 2007. Karst hydrogeology and geomorphology. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK. 562 pp.
- 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-Rossell I & Pezzi M C. 1975. Un karst mediterráneo supraforestal en sierra Mágina (Jaén). Condicionamientos geológicos y geomorfológicos. Cuadernos de geografía de la universidad de Granada, Serie monográfica, nº 1: 19-57.
- Ginés J & Ginés A. 1995. Speleochronological aspects of karst in Mallorca. *Endins*. 20: 99-112.
- González M J. 1996. Grandes cavidades de Andalucía. Las cuevas con más desarrollo. *Subterránea*. 6: 38-48.
- 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.
- León J. 1997. Cantabria subterránea. Catálogo de las grandes cavidades, 2 Vol. Santander. 777 pp.
- Lhènaff R. 1986. Répartition des massifs karstiques et conditions générales d'évolution. *Karstologia Mémoires*. 1: 5-24.
- López F & López B. 1989. Geomorfología del karst Prebético. Cordilleras Béticas. pp. 187-200. En: Durán J J & López-Martínez J (eds.) *El karst en España*. Monografías nº 4. Sociedad Española de Geomorfología. Madrid.
- Lores B, Robledo P A & Durán J J. 2012. Algunos aspectos de interés de las relaciones entre el dominio público marítimo-terrestre y los acuíferos costeros. El caso de la isla de Mallorca, Baleares, España. pp. 321-333. En: López-Geta J A, Fernández M, Ramos G, Rodríguez L (eds). *Nuevas aportaciones al conocimiento de los acuíferos costeros*. Instituto Geológico y Minero de España. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, nº 20. 2 vol.
- Murillo J M (ed.). 2013. *Las Aguas Subterráneas y la red Natura 2000*. Instituto Geológico y Minero de España. 416 pp.
- Palmer A N & Palmer M V. 1995. The Kaskaskia paleokarst of the Northern Rocky Mountains and Black Hills, northwestern USA. *Carbonates and Evaporites*. 10: 148-160.
- Palmer A N. 1984a. Geomorphic interpretation of karst features. pp. 173-209. In: LaFleur R G (ed.) *Groundwater as geomorphic agent*. Boston: Allen and Unwin.
- Palmer A N. 1984b. Recent trends in karst Geomorphology. *Journal of Geological Education*. 32: 247-253.
- Palmer A N. 1987. Cave levels and their interpretation. *National Speleological Society Bulletin*. 49: 50-66.
- Palmer A N. 1991. Origin and morphology of Limestone caves. *National Speleological Society Bulletin*. 103: 1-21.
- Palmer A N. 1995. Geochemical models for the origin of macroscopic solution porosity in carbonate rocks. pp. 77-102. In: Budd D A, Saller A H & Harris P M (eds.) *Unconformities and porosity in carbonate strata*. American Association of Petroleum Geologist Memoir series, num. 63.
- Palmer R J & Williams D. 1984. Cave development under Andros Island, Bahamas. *Cave Science*. 11(1): 50-52.
- Palmer R J. 1986. Hydrology and speleogenesis beneath Andros Island. *Cave Science*. 13(1): 7-12.
- Puch C. 1998. *Grandes cuevas y simas de España*. Federación española de Espeleología. Madrid. 794 pp.



- Pulido A. 1986. Le karst dans les gypses de sorbas (Almería). Aspects morphologiques et hydrogéologiques. *Karstologia Mémoires*. 1: 27-36.
- Ramírez F. 1992. Espacios naturales protegidos y karst en Andalucía. Estado de la cuestión. *Actas del VI congreso nacional de espeleología*. 257-270.
- Robledo P A & Durán J J. 2010. Evolución del turismo subterráneo en las Islas Baleares y su papel en el modelo turístico. pp. 305-323. En: Durán J J & Carrasco F (eds.) *Cuevas: patrimonio, naturaleza, cultura y turismo*. Madrid. España Asociación de Cuevas Turísticas Españolas.
- 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 & Mateos R. 2009. Las cuevas de Mallorca como parte del patrimonio geológico y natural de las Islas Baleares. Hacia una ordenación turística sostenible. pp. 305-317. En: Durán J J & López J (eds.) *Cuevas Turísticas, Cuevas Vivas*. Asociación de Cuevas Turísticas Españolas. Madrid.
- Robledo P A, Durán J J & Tienda T. 2014. Análisis de espeleotemas mixtos y su relación con paleoniveles eustáticos en la Cova des Pas de Vallgornera, Mallorca, España. *Actas del 1er Congreso Iberoamericano y 5º Congreso Español sobre Cuevas Turísticas*. Aracena, España.
- Robledo P A. 2010. Informe sobre la instalación de una red sensores en la Cova des Pas de Vallgornera (T.M. Lluçmajor, Mallorca) para el control de los parámetros ambientales frente a la futura construcción de la red de alcantarillado en las urbanizaciones de es Pas y Vallgornera. Instituto Geológico y Minero de España. Informes técnicos. 10 pp.
- Robledo P A. 2013. Estudio científico-técnico del sector oeste de las minas de Galdent, Lluçmajor, Mallorca. Informe técnico inédito. Instituto Geológico y Minero de España. 65 pp.
- Robledo P A. 2014. Informe científico-técnico sobre los perímetros de protección en torno a la Cova des Pas y Vallgornera. Instituto Geológico y Minero de España. Informes técnicos. 78 pp.
- Robledo P A. 2015. Una panorámica de las mayores redes kársticas del Planeta. Conferencia en el Club del Agua Subterránea. Madrid.
- Rodríguez I J & Díaz del Olmo F. 1989. Sierra Morena. pp. 201-208. En: *Mapa del cuaternario de España*. ITGE, Madrid.
- UNESCO. 2004. Network of National Geoparks seeking UNESCO's assistance. Unpublished report, Paris.
- UNESCO. 2008. Global network of national Geoparks. Unpublished report. [www.unesco.org/science/earth/geoparks.shtml](http://www.unesco.org/science/earth/geoparks.shtml). Paris. 2008.
- VV.AA. 1985. *Cuevas de España*. León: Editorial Everest. 308 pp.
- VV.AA. 1997. *El Mundo subterráneo en Euskal Herria*. Geografía del Karst. Cultura. Criptopaisajes. Lasarte: Taxomin Ugalde. 308 pp.
- Whitaker F F & Smart P L. 1998. Hydrology, geochemistry and diagénesis of fracture blue holes, South Andros, Bahamas. *Cave and Caves Research*. 25: 75-82.
- White E L & White W B. 1969. Processes of cavern breakdown. *National Speleothem Society Bulletin*. 30: 115-129.



White W B. 1988. Geomorphology and hydrology of karst terrains. New York. University Press. 464 pp.

Wigley T M & Plummer L N. 1976. Mixing of carbonate waters. *Geochemical and Geochemistry Acta*. 40: 989-995.

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