



UNIDAD DIDÁCTICA III

PATRIMONIO SUBTERRÁNEO Y CUEVAS TURÍSTICAS EUROPEAS



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea

NUESTROS SOCIOS:



El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.

UNIDAD DIDÁCTICA III. PATRIMONIO SUBTERRÁNEO Y CUEVAS TURÍSTICAS EUROPEAS.

Módulo 1. La formación de las cuevas.

- 1.1. Introducción.
- 1.2. Las rocas carbonatadas.
- 1.3. El agua subterránea.
- 1.4. Fases iniciales de la karstificación.
- 1.5. Procesos de régimen freático y régimen vadoso.
- 1.6. Evolución de las cavidades, cavernas o galerías.
- 1.7. Otros procesos formativos.
- 1.8. Cavidades no kársticas.
- 1.9. 1.1.Evolución de sistemas kársticos.

Módulo 2. El paisaje kárstico europeo.

- 2.1. Disolución y karst.
- 2.2. Las formas kársticas.
- 2.3. Karst y el clima.
- 2.4. Panorama kárstico en Europa.

Módulo 3. El interior del karst.

- 3.1 Zonificación del sistema kárstico.
- 3.2 Espeleotemas.
- 3.3. La extraordinaria biodiversidad troglobia.
- 3.4. El cambio climático y su estrecha relación con los sistemas kársticos.

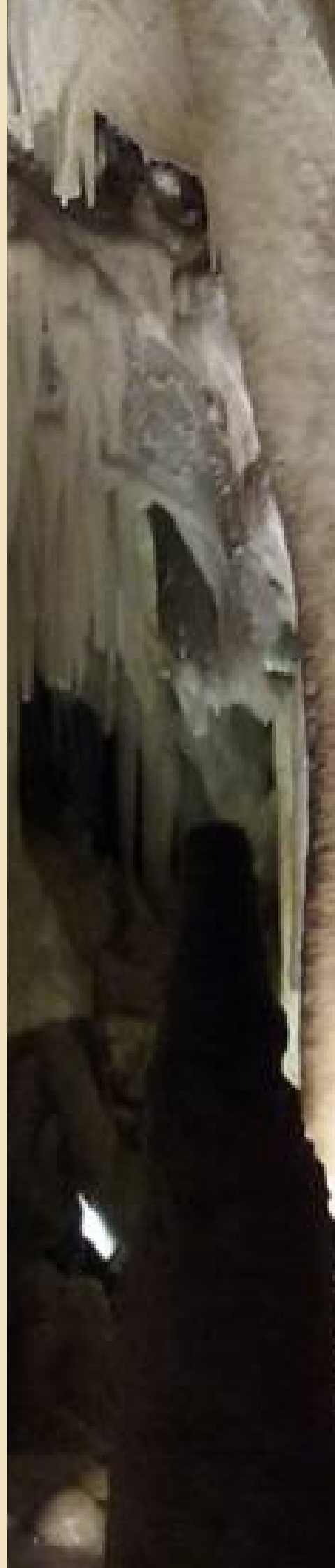
Módulo 4. Cavidades en materiales de origen volcánico.

- 4.1. Introducción.
- 4.2. Conceptos básicos sobre las rocas ígneas.
- 4.3. Descripción y origen de los tubos lávicos.
- 4.4. Otros tipos de cavidades.
- 4.5. Cavidades volcánicas en Europa.

CASOS DE ESTUDIO:

- Geoparque Mundial de la UNESCO Novohrad-Nograd
- Geoparque Mundial de la UNESCO SIERRAS SUBBÉTICAS

ANEXO I. Cuevas turísticas europeas.



Módulo 1. La formación de las cuevas.

En esta unidad didáctica se abordarán diferentes puntos relacionados con el paisaje subterráneo, desde conceptos básicos de formación de las rocas hasta el modelado kárstico y la formación de las cuevas, así como una recopilación de las principales cuevas turísticas existentes en el continente europeo.

1.1. Introducción.

Una cueva se puede definir como el espacio vacío en el interior de una roca debido a la erosión ocasionada por las corrientes de agua o el desplazamiento de masas de hielo o como consecuencia de la disolución de la roca caliza cuando ha permanecido en contacto con agua sutilmente ácida. Dicha descripción se corresponde con una formación de manera natural pero también puede haber tenido lugar mediante la excavación del terreno por parte de un animal o el ser humano. El interés que despiertan las cuevas va más allá del estudio científico estricto, ya que se conserva una visión antropológica que aviva, aún más, la necesidad de profundizar en la relación entre la cueva y el ser humano. Es por ello que se distinguen dos usos:

- Uso físico. Como hogar, desde Neandertales y Cromañones a eremitas y ascetas, sin olvidar resguardos puntuales de pastores y cazadores o refugio en tiempos de conflicto, además de su uso como lugar de culto religioso.
- Uso abstracto. En un primer momento como lugar de creación artística primigenia (pinturas rupestres), posteriormente como morada de oscuridad y tinieblas, inspiración de grandes filósofos, dominio de seres mitológicos, entrada al inframundo, lugar de manifestación de dioses, fuente de mitos y leyendas que forman, al fin y al cabo, parte del folclore de cada comunidad.

La Espeleología, del griego spelaion que significa “cueva, caverna, gruta”, y logos “tratado”, es la ciencia cuyo objetivo radica en el análisis del dominio subterráneo en sentido amplio. Analiza la parte física de la cueva, su formación, composición, estructura y desarrollo que ha dado lugar a la cavidad y a sus espeleotemas (formaciones geológicas), siendo las más conocidas las estalactitas y las estalagmitas. Su estudio se engloba dentro de la rama de la Geomorfología.



En torno al 90 % de las grandes cuevas se desarrollan en rocas carbonatadas que permiten la circulación del agua a través de ellas, se trata de rocas calizas o dolomías. El resto se forman en gress, en sal gema y en coladas volcánicas.

1.2. Las rocas carbonatadas.

Las rocas carbonatadas son de origen sedimentario, formadas por la acumulación de sucesivas capas de restos orgánicos (corales, esponjas, organismos calcáreos) junto con compuestos minerales inorgánicos, al menos un 50 %. Representan una quinta parte del total de rocas sedimentarias que se encuentran en el registro estratigráfico.

Se clasifican en tres grupos en función de la profundidad del mar en el que se originaron:

- **Oceánico.** Se encuentran en este grupo las rocas formadas en mares más o menos profundos. A este grupo pertenecen las rocas paleozoicas del Cámbrico, Devónico y Carbonífero.
- **Epicontinental.** Rocas formadas en mares epicontinentales, someros (poco profundos). Se trata de rocas mesozoicas, del Jurásico (es frecuente encontrar ictitas o huellas fósiles de dinosaurios) y del Cretácico.
- **Continental.** Rocas formadas en grandes lagos y pantanos. se trata de rocas calcáreas palustres de grano fino, ricas en restos orgánicos. Son de poco espesor por lo que no dan lugar a cuevas.

Las rocas carbonatadas están constituidas por dos elementos diferenciables entre sí.

1. Aloquemos. Alude a cualquier tipo de partícula carbonatada con un elevado grado de organización y complejidad.

2. Material intergranular. Se encuentra rodeado por los aloquemos. Existen varios tipos de matrices, según Achurra (nd)

a. Micrita. Matriz carbonatada formada por cristales de aragonito o calcita con un tamaño inferior a 4 µm. Se encuentra en zonas protegidas donde apenas existe agitación.

b. Bioclastos. Restos completos o parcialmente fragmentados de esqueletos de organismos marinos como equinodermos, briozoos, corales, e incluso moluscos. Aparecen en ambientes marinos o continentales.

c. Granos agregados. Varias partículas unidas entre sí, habitualmente por micrita. Suelen encontrarse en zonas intermareales o submareales donde la circulación mareal es baja.

d. Peloides. Se originan tras la homogeneización restos fecales de algunos organismos con micrita, sometidos posteriormente a una erosión biológica o mecánica. Se forman en zonas protegidas de agentes perturbadores (lagos y llanuras mareales).

e. Intraclastos. Fragmentos compuestos por una matriz de micrita u otros granos. Suelen tener un tamaño variable y presentar una morfología con bastantes ángulos. Se originan en zonas donde existe elevada actividad de agentes geológicos externos, dentro de una cuenca sedimentaria.

f. Extraclastos. Fracciones de rocas carbonatadas procedentes de la erosión de las mismas, fuera de la cuenca de sedimentación.

g. Oolitos. Núcleo rodeado de capas concéntricas regulares que forma un grano de forma aparentemente esférica con un tamaño inferior a 2 mm. Se forman en zonas someras.

h. Oncolitos. Núcleo rodeado de capas micríticas no regulares, debido a la actividad de las algas

i. Partículas terrígenas. Granos no carbonatados procedentes de la erosión de algunas rocas (cuarzos, feldespatos, arcillas).

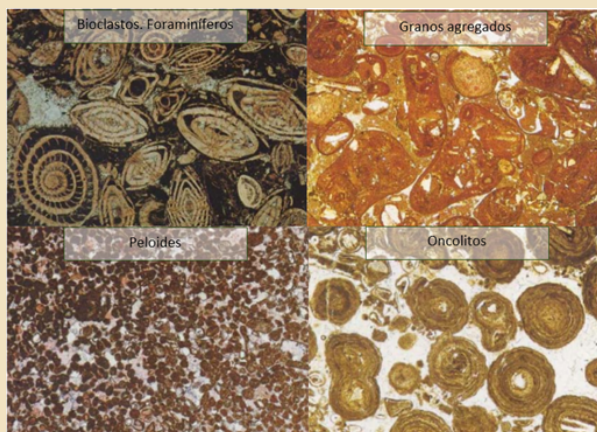


Figura 3.1. Diferentes materiales intergranulares (Achurra, nd).

La diagénesis es la etapa final del ciclo sedimentario en la que tienen lugar cambios químicos y físicos, los cuales provocan la compactación en la que se excluye el agua de los espacios vacíos que son ocupados, de este modo, por cristales. Las condiciones del medio: temperatura, luz (las algas, al realizar la fotosíntesis consumen CO₂, lo que activa la formación de calcita), agitación del agua y fuentes de alimentación influirán en la naturaleza del sedimento, determinando que la roca sea más o menos compacta y más o menos soluble. Dichos factores marcarán el proceso de karstificación o meteorización, combinación de acciones químicas (disolución, hidratación, sustitución iónica y oxido-reducción) y físicas (transferencia de masa y difusión) de la roca carbonatada o kárstica.

Karst es el nombre alemán de la región eslovena de Carso



Finalmente, las rocas sedimentarias marinas pueden emerger bien por una regresión marina, es decir, el mar retrocede; bien por elevación debida a fenómenos orogénicos; quedando expuestas a la erosión y a la disolución que originan las formas características del paisaje kárstico.

1.3. El agua subterránea.

La fractura de las rocas calizas determina su grado de permeabilidad, factor determinante en los procesos de karstificación. Las fracturas que se forman en las rocas originan una red de drenaje muy ramificada y subterránea conformada por conductos jerarquizados, de manera que el flujo se incrementa en volumen de arriba abajo.

La red de microfisuras es de vital importancia, no solo porque es la principal reserva de agua del karst, sino también por su papel fundamental en el inicio de formación de una cueva, como se mencionaba anteriormente. Como consecuencia de la interconexión, la masa rocosa torna de impermeable a permeable debido a la presencia de poros originados por la disolución de carbonato cálcico.

El agua subterránea se alimenta fundamentalmente de la infiltración directa de las precipitaciones y de los cursos de agua superficiales que pasan al subsuelo infiltrándose a través de sumideros y conductos kársticos, por lo que es un sistema hidrológico complejo con diversos flujos de entrada y salida.

Por lo general, la evolución geomorfológica, especialmente las fracturas, condiciona el comportamiento hidrogeológico ya que determina la circulación del agua subterránea (drenaje, flujo rápido, ríos subterráneos, surgencias, etc.), con patrones que difieren del superficial, siendo frecuente que por el interior de los macizos calcáreos discurra un volumen de agua mucho mayor que el que fluye por la superficie.

1.4. Fases iniciales de la karstificación.

Las fases iniciales de la karstificación comienzan con una disolución escasa en agua pura, generando formas superficiales con desarrollo rápido. Para entender cómo se han formado las cuevas se debe llegar hasta el nivel molecular, donde tienen lugar los siguientes procesos, como indican Martín et al. (2015). Debido a tanto de la fotosíntesis como la descomposición de las plantas se libera CO₂ que, al unirse al agua de la lluvia forma ácido carbónico (H₂CO₃) (reacción 1).

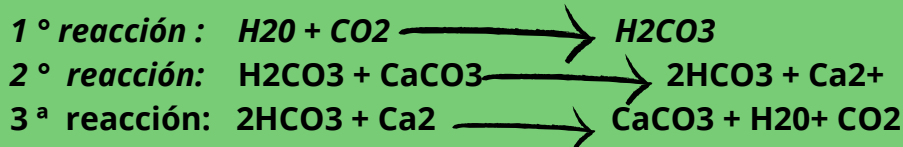


Figura 3.2. Reacciones que tienen lugar en la formación de cuevas y la posterior formación de espeleotemas.

Dicho ácido es capaz de disolver algunos minerales solubles como la calcita, elemento abundante en las zonas calizas, o dolomita, entre otros (reacción 2). Como consecuencia se generan poros y fracturas que finalmente dan lugar a las espectaculares cuevas que actualmente se pueden visitar como la Cueva de Valporquero, localizada en la provincia de León (España).



Figura 3.3. Cueva de Valporquero, León (España).

Por su parte, cuando el agua llega al interior de la cueva, pierde una parte del CO_2 , ya que en el interior de la misma este compuesto se encuentra en menor concentración estableciéndose de este modo un equilibrio entre ambos. En este momento es cuando tiene lugar la precipitación del carbonato de calcio (CaCO_3) en forma de calcita o aragonita, como se indica en la reacción 3 (Martín et al., 2015).

Los conductos solo se forman en rocas:

1. Solubles para permitir la percolación del agua.
2. Puras para que los residuos insolubles, como las arcillas, no dificulten la disolución de la roca
3. Sólidas para que los espacios que se forman a través de ellas no se derrumben.

Las formaciones que caracterizan el modelado kárstico son las dolinas, depresiones de planta circular con paredes inclinadas que se pueden formar tanto por la erosión como por el hundimiento del terreno (Hernández, 2017).

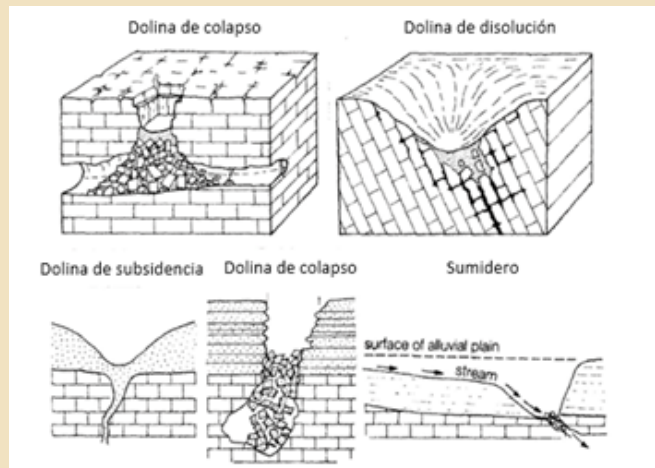


Figura 3.4. Representación de una dolina.
<http://www.kgs.ku.edu/SEISKARST/definitions.html>

Las dolinas reciben diversos nombres dependiendo de sus características físicas.

- **Torcas.** Presentan paredes muy escarpadas.
- **Simas.** Cuando se comunican con galerías subterráneas.
- **Cenotes.** Dolinas completamente inundadas.
- **Uvalas.** Unión de dolinas en una determinada región.
- **Poljés.** Evolución de uvalas, con aspecto de valle alargado y cerrado por lo que suele discurrir un curso de agua o bien estar inundados formando un lago kárstico.

En ocasiones, el techo de la cavidad puede colapsar y hundirse, originando de este modo una dolina de colapso o sima de hundimiento.

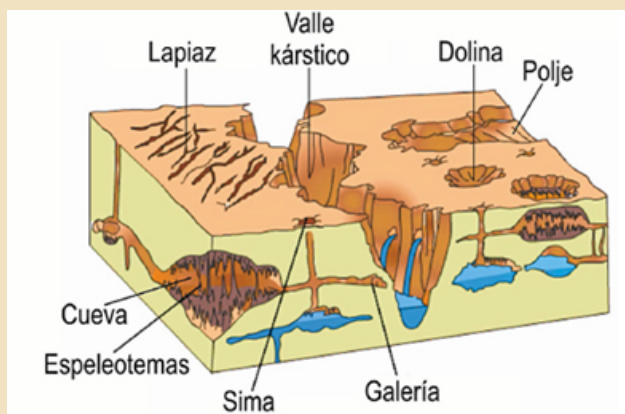


Figura 3.5. Principales elementos del paisaje kárstico.

La disolución de roca caliza origina paisaje característico conocido como modelado kárstico.

1.5. Procesos de régimen freático y régimen vadoso.

El contexto hidrológico es determinante en la evolución y desarrollo del sistema kárstico, ya que el agua que profundiza en la roca degrada algunas morfologías y amplía otras, conecta el exo y endokarst y modifica el nivel freático (nivel superior de una capa de agua), entre otros.

Procesos de karstificación en régimen freático.

Los conductos y cavidades bajo el nivel freático se encuentran embebidos en agua de forma permanente, por lo que la disolución de la roca tiene lugar de igual modo en la totalidad de su superficie, originando así tubos freáticos. Estos pueden presentar irregularidades debido a la composición de la roca, que no es idéntica en toda su extensión (Pinillos, 2015).

Procesos de régimen vadoso.

Tras la formación de los conductos se forma una red de drenaje que posibilita el descenso del nivel freático hasta zonas más profundas, quedando dichos conductos ocupados generalmente por aire. Dicha zona recibe el nombre de vadosa o de aireación (Pinillos, 2015).

Se distinguen dos tipos de conductos vadosos.

- 1.- De encajamiento. Se desarrollan a favor de los conductos freáticos anteriormente citados y, por lo tanto, son los primeros en aparecer.

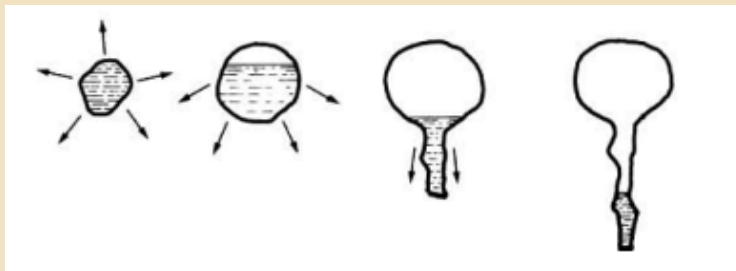


Figura 3.6. Formación de un conducto vadoso por encajamiento (Pinillos, 2015).

- 2.- De invasión. Formados por cursos de agua que no están relacionados la red de tubos ya existente. Por tanto, tienen mayores pendientes que los de encajamiento y no presentan morfologías freáticas. El tamaño que pueden alcanzar es notable llegando a formar pozos.

El karst se caracteriza por bajas esorrentías superficiales y altas infiltraciones que circulan de manera jerarquizada, de forma que las cuevas se forman por ensanchamiento de los conductos kársticos existentes debido tanto a procesos erosivos como de disolución. Poco a poco tiene lugar una selección natural de los más anchos en detrimento de los más estrechos, dándose una circulación hídrica preferencial por los más abiertos que en un futuro darán lugar a las cuevas.

1.6. Evolución de las cavidades, cavernas o galerías.

Conductos subterráneos originados por ensanchamiento de discontinuidades (diaclasas, fisuras, planos de estratificación, cambios de porosidad, etc.), muy variables en cuanto a profundidad, longitud, trazado de planta o sección.

Las cavidades son el resultado de una evolución compleja en la que se combinan procesos de colapso o hundimiento con disolución de la roca, ocultando así rasgos o señales de fases anteriores, por lo que es muy difícil datar la edad de las cuevas o reconstruir la historia de su formación. Junto con las dolinas, su presencia determina la existencia de un modelado kárstico (Pinillos, 2015).

La evolución de las cavidades se caracteriza por:

- Evolución rápida. Los conductos kársticos se forman a lo largo de miles de años, periodo muy breve teniendo en cuenta la escala geológica. La karstificación es un proceso bastante rápido, de manera que una misma forma carbonatada podrá haber sufrido distintos episodios de colmataje (frena el desarrollo de la cueva) y excavación antes de adquirir la forma actual.
- Factor energético. La karstificación es un proceso destructivo que moviliza grandes cantidades de energía, sobre todo potencial y química del agua, las cuales van

a actuar sobre el macizo. Según su intensidad, la karstificación será más o menos rápida. Hay tres factores que favorecen el proceso:

- El relieve topográfico.
- La biomasa, que actúa como factor de energía química (produce CO₂).
- La pluviometría, que actúa como factor potencial y químico.

Evolución no lineal, ya que está bajo la influencia de dos factores externos: el clima y el relieve.

- La evolución climática puede ser rápida e intensa. El mejor ejemplo está en las glaciaciones del Cuaternario, periodo en el cual tuvieron lugar, al menos, ocho cambios climáticos influyendo en procesos de actividad en un momento y de parada en otro.
- La evolución del relieve está determinada a la vez por la tectónica de placas y por la erosión. El relieve determina la dirección de la circulación del agua y, por tanto, la erosión y disolución de la roca.

1.7. *Otros procesos formativos.*

Edificios travertínicos y tobáceos

Los travertinos y las tobas son rocas porosas originadas por la precipitación de carbonato cálcico. Se desarrollará en profundidad el apartado “2.2. Formas kársticas”.

Rellenos de conductos

Depósito de materiales orgánicos o inorgánicos en el lecho de los conductos freáticos previamente formados por procesos de erosión física y química de la roca carbonatada.

1.8. *Cavidades no kársticas.*

Algunas rocas serán más o menos solubles en medio acuoso dependiendo de la solubilidad de estas, así como de la concentración iónica del agua y de su temperatura. De este modo, pueden darse fenómenos comparables a los de un karst típico, hablando en este caso de un pseudokarst.

Rocas evaporitas

Formadas por depósitos de sales en cuencas poco profundas, en las que se ha producido una evaporación intensa. Las más corrientes son la sal gema y el yeso. Ambas presentan un alto grado de solubilidad, por lo que la evolución de sus cuevas es muy rápida, llegando a generar cavidades y dolinas de hundimiento en tan solo unos años. Es frecuente que colapsen porque sus bóvedas son más débiles que las que se forman en las rocas carbonatadas.

Rocas cuarcíticas

Sus componentes básicos son los silicatos. Se trata de rocas duras resistentes a la erosión por lo que el cuarteamiento que genera fracturas más o menos profundas, es más intenso que la disolución.

1.9. Evolución de sistemas kársticos.

A medida que se desarrolla la red kárstica, tanto los conductos freáticos como vadosos se van ensanchando gradualmente y el nivel piezométrico desciende hasta alcanzar una posición de equilibrio

Nivel freático: altura física de una columna de agua en un acuífero libre

Nivel piezométrico: altura de una columna de agua en un acuífero confinado si se dejara subir o bajar, en un momento dado

Como consecuencia del movimiento de placas, el curso de los ríos se ve alterado y por lo tanto pierde el equilibrio que atesoraba. Es entonces cuando vuelve a erosionar su cauce buscando estabilizarse. Asimismo, los conductos kársticos que antes permanecían sin actividad ahora soportarán una mayor circulación, ensanchándose debido a procesos de disolución de la roca. Finalmente, cuando dichos conductos consigan evacuar el agua sobrante, se establecerá por consiguiente un nuevo nivel freático. Con el paso del tiempo se producen distintas generaciones de conductos relacionadas con las sucesivas fases en las que el nivel freático de lugar ha conseguido volver a ser estable (Pinillos, 2015).

La posición estable del nivel freático prolongada en el tiempo permite que los conductos freáticos y vadosos adquieran unas dimensiones considerables.



Módulo 2. El paisaje kárstico europeo.

Es necesario comprender los factores que controlan la interacción entre el agua y la roca (ver apartado 1.4.) para poder conocer e interpretar tanto el proceso de karstificación en sí como el resultado final de este, el paisaje kárstico (Andreu et al., 2016).



Figura 3.7. Paisaje kárstico: Hoces de Vegacervera, León (España).

2.1. Disolución y karst.

Se define karst como aquel paisaje de naturaleza calcárea que presenta un relieve accidentado, con grietas y crestas agudas, sometido a erosión química.

Los procesos de karstificación son más intensos cuanto mayor es la acidez (relacionado con la concentración de CO₂ disuelto) y la movilidad del agua a través de la red de circulación por el macizo rocoso, de forma que se van ensanchando unos conductos mientras otros se rellenan o quedan abandonados.

Se debe tener en cuenta que este proceso es reversible, es decir, los procesos de disolución van seguidos de procesos de precipitación, donde el agua se evapora, el CO₂ disminuye y los minerales presentes, calcita y dolomita entre otros, precipitan originando diversas estructuras kársticas (Pinillos, 2015).

2.2. Las formas kársticas.

Las formas que aparecen en los karst pueden ser de tipo exo o endokárstico. A su vez, estas pueden ser destructivas, constructivas o mixtas.



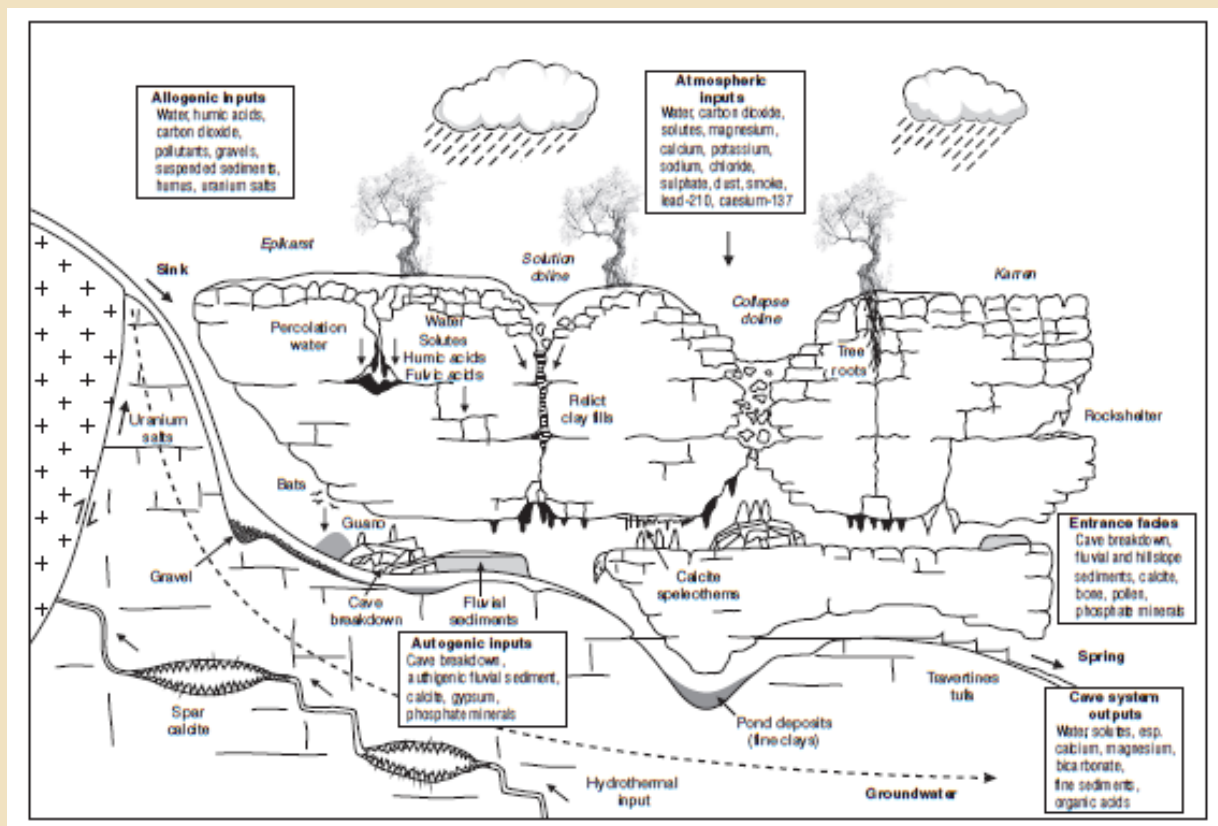


Figura 3.8. Sistema kárstico mediterráneo. (Lewin y Woodward, 2009)

Según Pedraza (1996), las formas exokársticas destructivas que se encuentran en estos parajes son: dolinas, poljes, uvalas, glaciokarst, valles kársticos, pavimentos, mogotes, lapiaces, pozos de nieve y simas. Por su parte, las constructivas son edificios travertínicos o tobáceos y las mixtas, cubetas de decalcificación.

Dolinas

Las dolinas son depresiones cerradas del terreno, que presentan una planta circular o elíptica. Se encuentran en gran número y con diverso desarrollo.

A partir de ellas, por disolución y/o colapso de cuevas subterráneas, se pueden formar pozos, simas, etc. Las simas son dolinas conectadas con galerías subterráneas.

Por lo general, hacia ellas discurren las aguas. El conjunto de sumideros de una dolina se denomina ponor.



Fig 3 . 9 . Sima de San Pedro, Toledo (España).

Si varias dolinas se unen generando una amplia depresión cerrada, de fondo plano y elevada tasa de infiltración de agua, forman uvalas. Cuando la dolina no puede absorber todo el agua y la depresión se inunda dado que el nivel freático está próximo a la superficie, se originan poljes, cuyo fondo se suele colmatar de sedimentos insolubles que cierran las fisuras.

En el karst los cursos de agua superficiales pueden ser escasos, incluso ausentes, predominando la circulación subterránea de las aguas, siendo frecuente que en las zonas más bajas aparezcan surgencias o resurgencias en forma de fuentes por las que el agua emerge al exterior.

Glaciokarst

Amplias superficies de roca desnuda en suelos de piedra caliza en los que el flujo de agua en forma de hielo ha originado cañones de gran envergadura. Se encuentran altitudes elevadas y latitudes septentrionales.



Fig 3 . 10. Paisaje glaciar kárstico en Grecia.

Valles kársticos o fluviokarst

Se trata de incisiones fluviales en macizos kársticos, de paredes verticales que sirven de valle fluvial, como ocurre en los cañones o las hoces, o quedan fuera de la corriente actual recibiendo el nombre de valles secos o muertos.

Pavimentos

Superficies de rocas carbonatadas que se ajustan a los planos de estratificación.

Mogotes, torres o pináculos

Cuando el proceso de karstificación ha disuelto una gran parte del macizo, quedan relieves residuales afilados, cónicos, piramidales o cilíndricos, respectivamente.

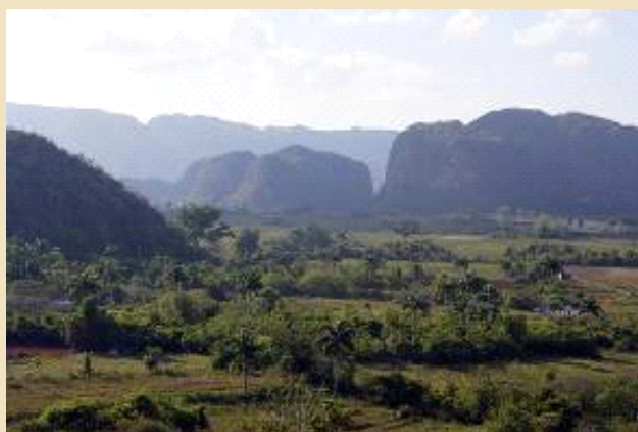


Fig . 3 . 11. Paisaje kárstico con mogotes en el valle de Viñales (Cuba).

Lapiaz, karren o lenar

Significa “campo de piedra” y es una forma kárstica menor. Tiene lugar en superficies libres o cubiertas de vegetación y suelo, por acción directa de la escorrentía que da lugar a bloques separados por canaladuras, pasadizos y canalones. Es frecuente en las zonas altas de una región calcárea, en la que se observa la roca totalmente desnuda.

Pozos de nieve

Evolucionan a partir de un hueco o pequeña fosa que aparece en el karst y se cubre de nieve. Por sus grietas discurre el agua procedente del deshielo, rica en CO₂, atacando la superficie de la roca y profundizando progresivamente. Son verticales, lo que facilita que se produzcan desplomes en el fondo cuando alcanzan un buen desarrollo.

Abismos, simas o pozos

Vienen a ser conductos verticales o muy inclinados que conectan las aguas superficiales con las subterráneas. Normalmente son cilíndricos con una sección más o menos regular y, en general, se han formado por la disolución exacerbada de una dolina. Abismos, simas y pozos se definen según su profundidad, de mayor a menor, respectivamente.

Edificios travertínicos y tobáceos.

Formas exokársticas constructivas originadas por la precipitación subaérea de carbonato cálcico, mediante procesos químicos originando travertinos o por medio de la intervención de organismos como bacterias o plantas, generando de este modo tobas

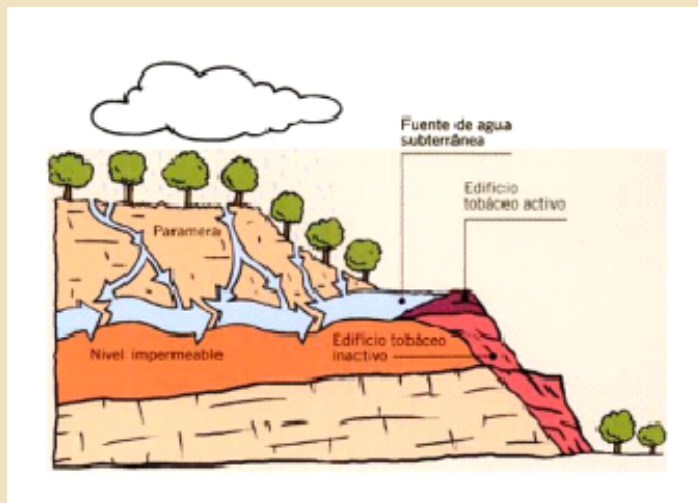


Fig. 3. 12. Formación de edificios travertínicos.

Los edificios travertínicos se corresponden con acumulaciones de gran espesor en forma de cascada, columna o peldaños, que han tenido lugar como consecuencia de la salida a la superficie de un flujo de agua asociado a rocas carbonatadas (Carcavilla et al., 2008).

Cubetas de decalcificación

Formas exokársticas mixtas con forma de depresión, cuyos materiales de relleno son arcillas, óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, procedentes de la erosión de la roca madre karstificada.

Pedraza (1996) y Pinillos (2015) clasifican a las formas endocársticas en destructivas, cuevas, cavernas y galerías, y en constructivas, espeleotemas y relleno de conductos

Cuevas, cavernas y galerías

Conductos subterráneos originados por el ensanchamiento de diversas discontinuidades (diaclasas, fisuras, planos de estratificación, cambios de porosidad, etc.) y muy variables en cuanto a profundidad, longitud, trazado de planta o sección

Espeleotemas

Estructuras formadas en el interior de cuevas o cavernas debidas a la precipitación carbonato cálcico en forma de calcita o aragonito, principalmente. Dependiendo de su

morfología se clasifican en: estalactitas, se originan desde el techo, estalagmitas, se constituyen mediante el goteo de agua saturada en carbonato cálcico procedente de estalactitas, de pared y columnas, a partir de la unión de estalactitas y estalagmitas.



Fig. 3 . 13 . Espeleotemas en la Cueva de Oñati-Arrikrutz, País Vasco (España).

Relleno de conductos

Diversos materiales como restos orgánicos procedentes de animales o vegetales o residuos de decalcificación ocupan el interior de algunos conductos.

Dolinas, simas y sumideros son los elementos que determinan el modelado kárstico, estando estrechamente relacionados con ellos fenómenos de disolución, colapso y subsidencia. Generalmente, se denominan sumideros. Se diferencian seis tipos de sumideros según Pinillos (2015):

- De disolución. Se forman debido a la disolución de la roca carbonática junto con pequeños colapsos que tiene lugar en las proximidades. Son típicos de terrenos kársticos que han evolucionado durante un largo periodo de tiempo.
- De colapso. Se originan debido a la rotura inminente o progresiva y posterior colapso del techo de una cueva. La formación de grandes sumideros de colapso suele ser un evento poco común ya que los macizos carbonáticos presentan una resistencia ante tensiones elevada. Sin embargo, a pequeña escala, se producen colapsos que promueven la degradación y erosión de la superficie del karst.
- De colapso cubierto o dropout. Debido al lavado de las grietas y fisuras de la roca madre como consecuencia de la penetración de agua a través de la superficie de suelo y tierra que cubren el lecho rocoso, se produce tanto el colapso de la roca como del lecho que la cubre, pudiendo tener lugar en cuestión de segundos.
- Enterrados. Se forman como consecuencia del hundimiento del terreno creado a partir del depósito de residuos en sumideros antiguos.
- Por colapso del nivel impermeable o caprock. El material insoluble dispuesto sobre la superficie kárstica impide la penetración de agua y su correspondiente erosión, pudiendo llegar a colapsar dichos materiales sobre dicha superficie o sobre una cavidad kárstica subyacente.

- De colmatación o suffosion. Aparecen cuando el material que se deposita sobre la superficie es sometido a un lavado progresivo de los conductos debido a la lluvia, por lo que se produce un hundimiento paulatino del terreno.

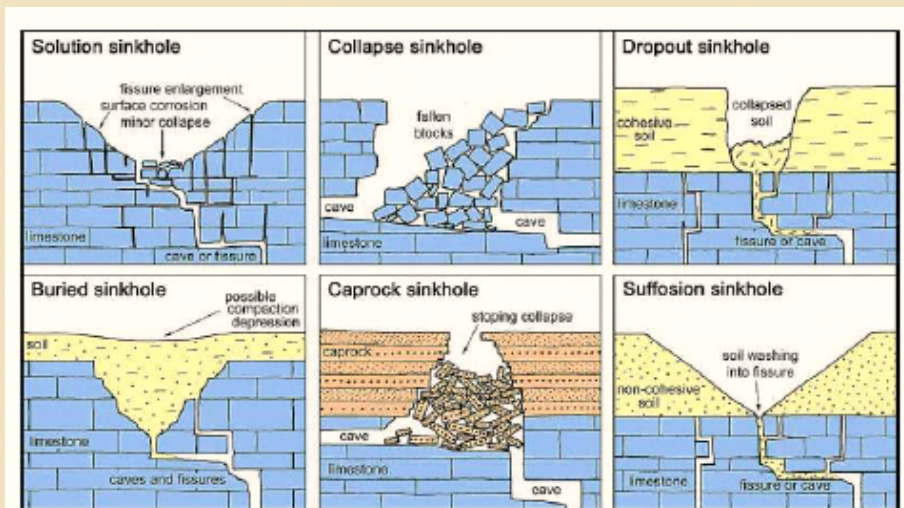


Figura 3. 14 . Tipologías de sumideros (Waltham y Fookes, 2003).

2.3. Karst y el clima

El clima es un factor determinante en los procesos de karstificación, ejerciendo su influencia a través de la disponibilidad de agua y del régimen térmico:

- Pluviometría. Cuanto mayor sea el volumen de agua que transita por la roca, mayor es el proceso de disolución / erosión que en ella se ejerce. La red hidrográfica va a profundizar en el macizo ya karstificado degradando algunas de las morfologías presentes y ampliando otras. Asimismo, se conectarán formas externas e internas, exokársticas y endokársticas, respectivamente, modificando por consiguiente el nivel freático del momento, como ya se ha mencionado anteriormente (Pinillos, 2015).
- Temperatura. Las aguas que mejor disuelven las rocas carbonatadas son las frías, pues estas captan mejor el CO₂, como ya se ha mencionado en anteriormente. Así, las aguas glaciares o las que proceden de las aguas de deshielo disuelven mejor las calizas porque disponen de mayor concentración de gas carbónico disuelto.
- Vegetación. Determinada por las condiciones climáticas, la densidad de la cobertura vegetal juega un papel de vital importancia en la morfología del karst y, por lo tanto, en la morfología de las cuevas. La vegetación impide la erosión, al tiempo que es un factor positivo en la disolución del karst ya que en los procesos fermentativos y fotosintéticos emiten mucho CO₂ que, captado por el agua ácida acelera enormemente la disolución de la roca. Es habitual que en zona kárstica con abundante vegetación lleguen a formarse cuevas.

No solo se deben tener en cuenta el clima, sino también los aspectos tectónicos del lugar donde se encuentra el karst. La fragmentación del macizo está condicionada por los procesos tectónicos que actúan tanto vertical como horizontalmente. Las discontinuidades formadas como consecuencia de la tectónica de placas, generarán facturas por las que se infiltrará el agua superficial a través de la roca, llegando a provocar todas las posibles morfologías que se han presentado en el anterior apartado. El movimiento del agua en dichas discontinuidades se debe tanto a la gravedad como al tamaño de los canales y de las fracturas, factores que controlan la velocidad y el flujo de agua que permanece en circulación. Las zonas en las que se cruzan o unes dos o más fracturas son las más susceptibles a los procesos de karstificación. Dolinas y sumideros se forman en la superficie de estas zonas acompañados habitualmente de una serie de pequeñas lagunas. Con respecto a la distribución de las morfologías endokársticas, cavidades, cavernas y canales, siguen las direcciones de las principales discontinuidades tectónicas (Pinillos, 2015).

Otro factor determinante es la influencia del relieve: para que se desarrolle el paisaje kárstico es necesario que el drenaje subterráneo sea eficaz, ya que las rocas calcáreas casi siempre contienen proporciones variables de elementos insolubles que han de separarse y ser arrastrados por la corriente de agua, sucediendo únicamente cuando el relieve tiene pendiente.

En función de la zona en la que se ubique el karst, se distinguen tres tipos karstificaciones, según Pinillos (2015):

- Tropical. Como consecuencia de la temperatura y la humedad, existe una elevada actividad biológica en el subsuelo, factor que intensifica la acidificación de suelo. Añadiendo, las provisiones de agua de estas zonas, el nivel de disolución es bastante elevado. Como se ha indicado, las zonas en la que se encuentran son regiones tropicales húmedas y cálidas .
- Frío. Debido a las bajas temperaturas de las aguas, la disolución de CO₂ es notablemente elevada, por lo que son bastante agresivas con la roca desencadenando fenómenos destructivos principalmente. Se ubican en zonas de altas latitudes y altitudes, don de los procesos de karstificación se asocian a glaciares.
- Templado. Mezcolanza de fenómenos de los dos anteriores donde se encuentran niveles de saturación variables y agresividades del agua intermedias, promoviendo la aparición de formas endokársticas como exokársticas. Se presentan en zonas áridas, independientemente de que sean cálidas o frías, ya que la escasez de agua asociada a la estacionalidad favorece la aparición de dicho modelado kárstico.

2.4. Panorama kárstico en Europa.

Todas las zonas con notable intensidad pluviométrica y que presenten clima tropical o similar son zonas proclives para la aparición de karstificación, siempre y cuando se localice un macizo carbonático. En Europa, sin tener en cuenta Rusia e Islandia, existe un total de 1337635 km² de afloramientos de rocas calizas, lo que representa el 21,8 % de la superficie europea total (Pinillos 2015), como se observa en la figura 3.15. En la figura 3.16., se muestran los afloramientos calizos en la superficie mundial a mediados de 2005, los cuales representaban un 12 % de la superficie mundial (Goldscheider, 2005).



Fig. 3. 15. En gris, afloramientos de rocas carbonáticas en Europa (Goldscheider, 2005).

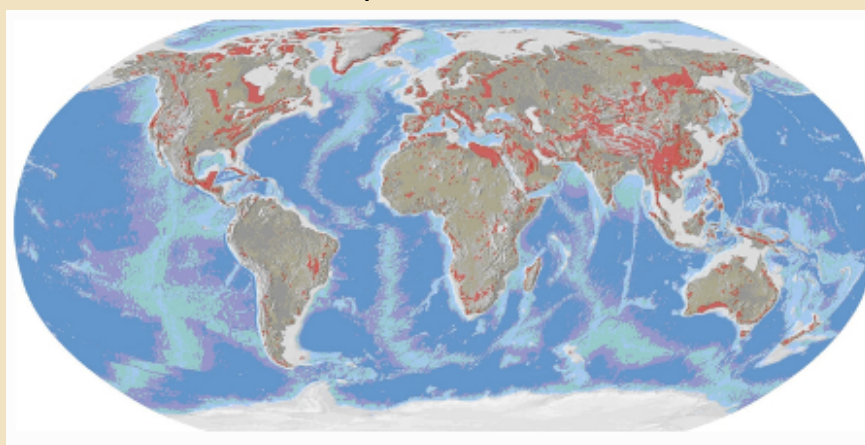


Fig. 3.16. En rojo, afloramientos de rocas carbonáticas a nivel mundial

Según Jakucs (1977 en Lewin and Woodward) existe una variación altitudinal que condiciona la existencia de cuatro escenarios kársticos diferentes, como se muestra en la figura 3.17; 3.18; 3.19 y 3.20.

- **A: Zonas con altitudes superiores a 3000 m.** En ellas, la intensidad de karstificación, así como la profundidad de la erosión y por tanto la formación de cuevas no son muy notables. Sin embargo, sí aparecen valles con forma de U debido a la erosión ocasionada por la acumulación de hielo y nieve.
- **B: Zonas por debajo de los 2000 m.** La erosión de la roca caliza junto con la formación de surcos son las principales características que se encuentran en esta altitud. Asimismo, existe una intensidad de karstificación media-baja. Aparecen también una pequeña deposición calcárea y formación de dolinas.
- **C: Zonas ubicadas a una altitud de 1000 m.** La superficie de la roca presenta una cubierta vegetal, por lo que se incrementa la intensidad de los procesos de karstificación.
- **D: Zonas inferiores a los 1000 m.** La deposición calcárea se incrementa notablemente, así como la formación de cuevas y dolinas. Se reduce de forma sustancial la profundidad de la erosión, así como la formación de surcos.

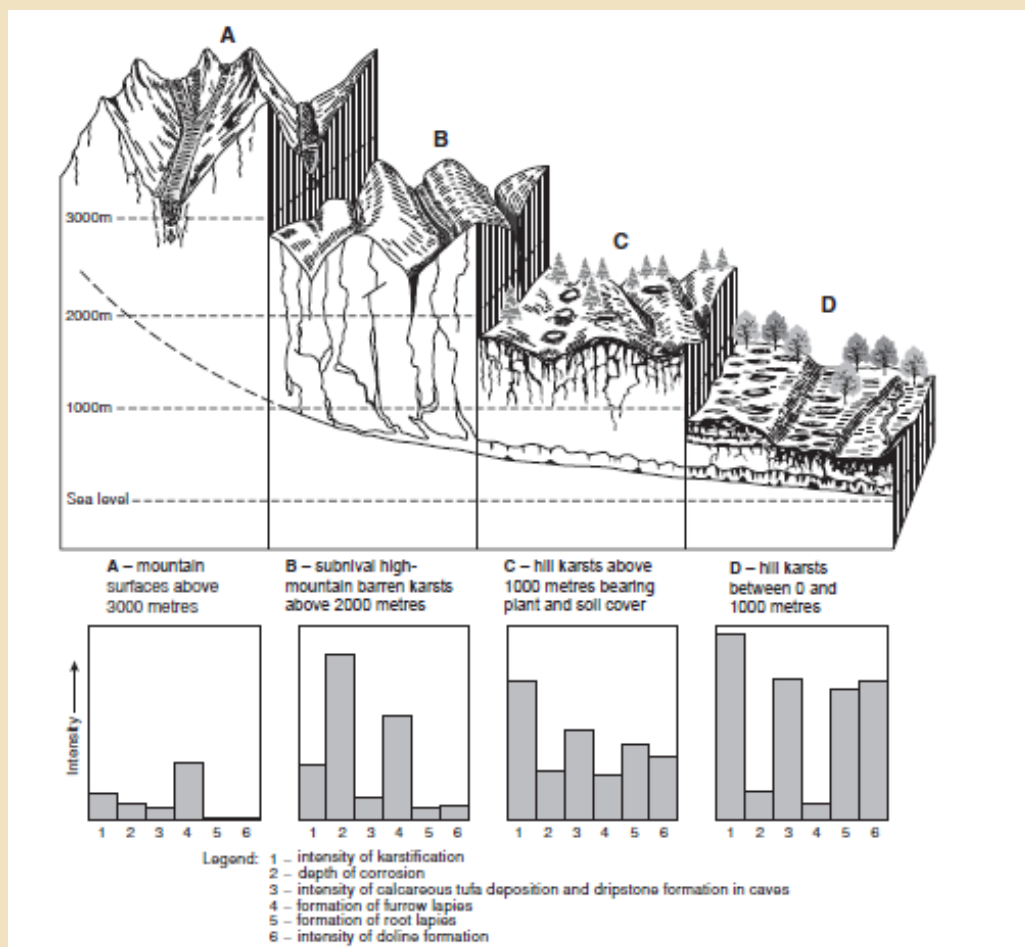


Fig. 3. 17. Escenarios kársticos en la zona mediterránea europea (Lewin y Woodward, 2009).



Fig. 3.18. Paisaje kárstico en el Parque Nacional de Picos de Europa, norte península ibérica (España).



Fig. 3.19. Karst Galbena en Apuseni (Rumania)

Módulo 3. El interior del karst.

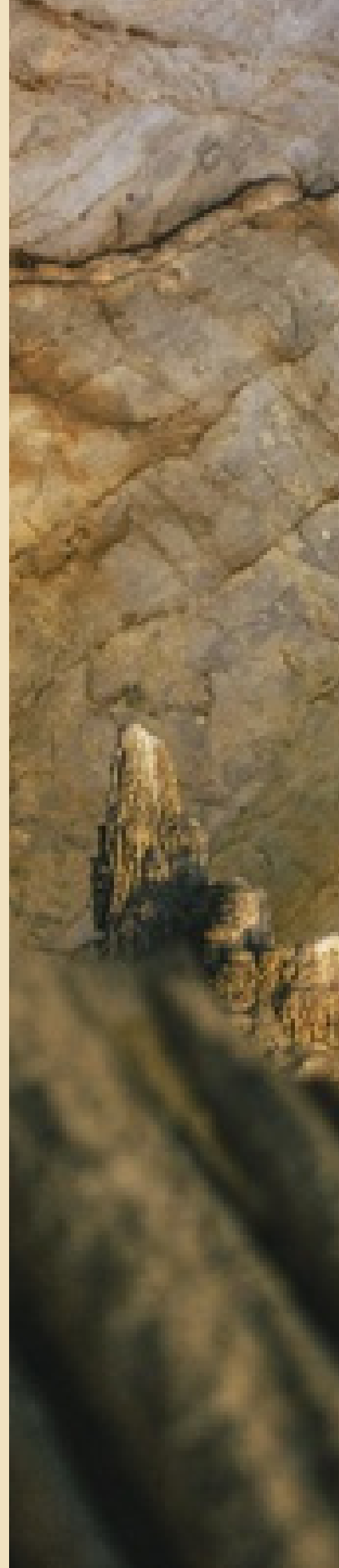
3.1. Zonificación del sistema kárstico.

En el sistema kárstico se distinguen varias zonas tanto exteriores como en el interior del macizo:

- a. Zona de absorción o de infiltración. Se encuentra en la zona superficial y se conoce también como epikarst. En ella tiene lugar procesos de disolución muy intensos, que depende de las condiciones externas, clima, pluviometría y tectónica de placas, además de la presencia de vegetación sobre la misma, ya que En esta zona se va a producir la casi totalidad del CO₂ que va a actuar en la disolución de la roca. La presencia de diaclasas (fractura de la roca no acompañada de desplazamiento horizontal) favorece la infiltración química del agua y, por lo tanto, el inicio de formación de una cueva.
- b. Zona vadosa o de paso vertical. Esta zona se encuentra definida por la red de fisuras, pozos y simas. La energía cinética del agua actúa como agente mecánico, erosionando la roca, por lo que se dan derrumbamientos y colmatajes, que pueden implicar una intercomunicación entre cuevas y simas.
- c. Zona de paso horizontal. Dicha zona alberga las galerías y grandes salas en las que precipita el carbonato cálcico originando diferentes espeleotemas y todo tipo de concreciones como estalactitas y estalagmitas. Pueden aparecer ríos subterráneos, sifones, chimeneas, gateras, etc.

Se suele decir que las cuevas o galerías son activas cuando por ellas discurre el agua y se dan procesos de formación y desarrollo. El goteo de las estalactitas revela que la cueva es un “ente viviente” como consecuencia de la existencia de dichos procesos.

Por el contrario, las cuevas o galerías fósiles, también conocidas como muertas son aquellas por las que, en la actualidad, no discurre agua, de manera que los procesos de desarrollo y formación se han paralizado. Las paredes secas y la disgregación de la caliza son indicadores de ello.



d. Núcleo profundo. Se asocia con la zona límite de karstificación. Aunque no se pueda decir que existe un verdadero límite definido, ya que en el interior de la roca madre se dan cambios que podrían favorecer el desarrollo del karst en profundidad, partiendo de esta zona. No obstante, se ha encontrado que Bosnia Herzegovina, la base de la zona de karstificación se encuentra a una profundidad de 250 m en la región de los Alpes Dináricos, aunque depende del tipo de roca y de los factores externos ya enumerados (Pinillos 2015). Generalmente delimita con la capa freática, con circulación permanente de agua, la cual se corresponde con acuíferos y con la salida del agua al exterior, dando lugar a surgencias y manantiales.

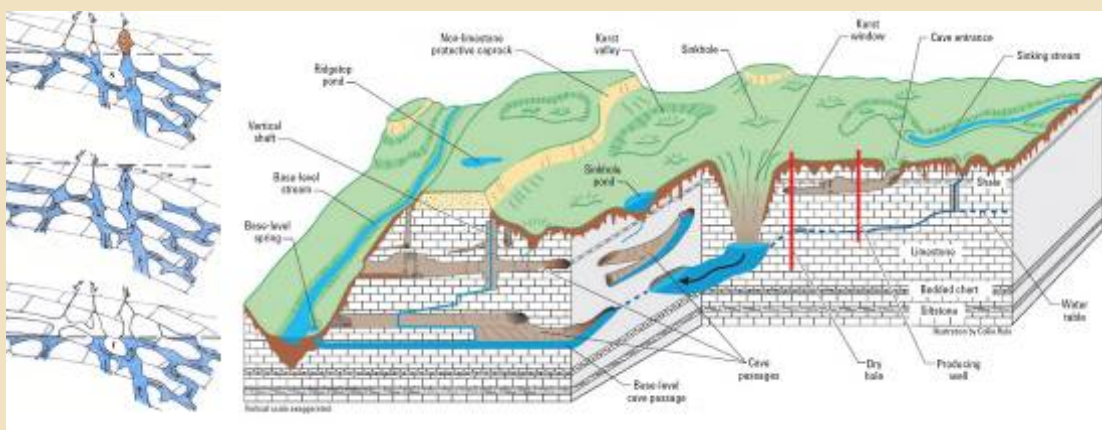


Fig . 3. 20 . Zonas del sistema kárstico

El agua procedente de los acuíferos es una de las principales fuentes de agua dulce para la población mundial, llegando a representar el 50 % del total consumida en algunos países de Europa. Por ello, importante tener en cuenta la vulnerabilidad a la que están expuestos los acuíferos, debido a la llegada de sustancias contaminantes a través de las fracturas existentes en el terreno. Por ello, en el marco europeo se ha establecido la Acción COST 620, cuyo fin radica en establecer un mapa de vulnerabilidad para proteger y preservar los acuíferos kársticos de Europa (Goldscheider 2005).

3.2 Espeleotemas.

Al hablar de espeleotemas se hace referencia a las formaciones que se han desarrollado como consecuencia de la precipitación química de algunos minerales procedentes de las rocas carbonáticas.

Una vez que el agua ácida con CO_2 ha circulado por las fisuras disolviendo la roca carbonatada, sale del macizo de manera muy lenta, de tal modo que el CO_2 se libera al medio aéreo, el agua pasa a ser agua de escorrentía y el carbonato cálcico precipita dando lugar a los espeleotemas.

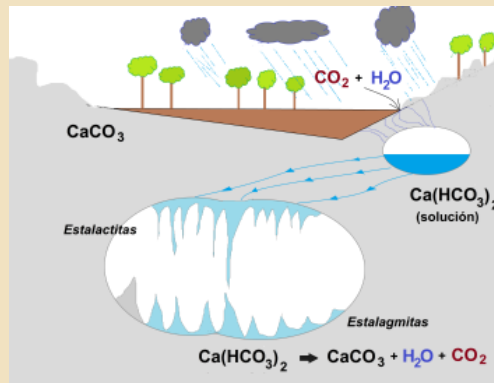


Fig. 3.20. Reacción de precipitación CaCO_3 .

En una cavidad, la zona con más concreciones es el espacio aéreo situado inmediatamente debajo de la zona de infiltración, de ahí que las bóvedas más densamente fisuradas tengan gran profusión de todo tipo de espeleotemas.

Su formación y desarrollo dependen de la fluidez del agua y de la concentración de CO_2 de la misma. Por ello su crecimiento no es constante, existiendo cambios en la evolución de su longitud y espesor. Una mayor infiltración de agua implica un mayor crecimiento y, por tanto, un incremento en el desarrollo de las mismas. Se elongan más en invierno, ya que el agua que el agua tiene una temperatura más baja que en verano, lo que implica que existe una mayor concentración de CO_2 , como ya se ha dicho. Por otro lado, la existencia de corrientes de aire disminuye la formación de los espeleotemas debido a que la “gotas de precipitación” no permanecen en los extremos, impidiendo la elongación de las mismas.



Fig. 3. 21. Gota saturada en carbonato cálcico sobre una estalactita

El crecimiento en longitud de los espeleotemas es opuesto al crecimiento en grosor. En condiciones normales, por ejemplo, una estalactita crece unos 5 mm en 10 años. De este modo, una estalactita de 2 m de longitud y 40 cm de diámetro ha tardado unos 150 000 años en formarse.

Generalmente, se pueden romper de forma natural como consecuencia de grandes vibraciones subterráneas debidas a movimientos sísmicos. Su conservación es de suma importancia, por lo que no se deben tocar y mucho menos golpear. A continuación, se muestran los espeleotemas más característicos según Martín et al. (2015).

Estalactitas.

Formas cilíndricas o cónicas que crecen desde el techo de la cueva mediante goteo. Cuando el agua llega a la cueva y pierde el CO₂, se produce la precipitación de calcita o aragonito formando un depósito delgado alrededor de la gota en forma de tubo. El agua de goteo sigue circulando por el interior de este, formando nuevos cristales en el extremo del mismo que dan lugar a estalactitas tubulares, largas y delgadas, conocidas como varillas o macarrones. El agua puede circular también por el exterior de la estalactita, creando capas de mineral en el exterior y dando lugar a formas cónicas. Se forman gracias al agua que circula por un tubo central y por las paredes, lo que favorece, respectivamente, su crecimiento en longitud y en grosor.

Estalagmitas

Formas cónicas con el extremo redondeado formadas por un goteo prolongado en el tiempo, procedente de una estalactita o directamente del techo de la cavidad. Carecen del tubo central por lo que se originan mediante la sucesión de capas estratificadas.

Columnas

Se originan cuando los extremos de una estalactita y una estalagmita contactan entre sí, uniéndose.

Banderolas o cortinas

Espeleotemas con forma de lámina ondulada que se suspenden desde el techo de las cavidades. Se desarrollan a partir de depósitos de carbonato cálcico en un sentido vertical y longitudinal a la pared, cuando las gotas resbalan por la pared del techo.

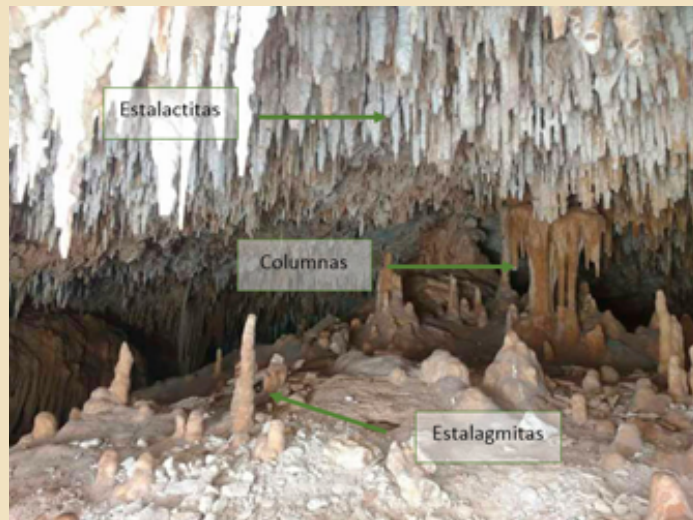


Fig . 3. 22 . Localización de los espeleotemas más característicos.

Coladas

Depósitos de carbonato cálcico con morfología de manto como consecuencia de la superposición de capas a lo largo de una superficie amplia. Se forman en zonas donde la circulación de agua rica en minerales es abundante.

Plaquetas

Láminas de calcita muy delgadas formadas sobre la superficie del agua de algunos lagos gour, pequeños lagos escaleriformes. Permanecen sobre la superficie hasta que son demasiado gruesa y se hunden en el fondo de los mismos.

Formaciones fibrosas

- **Pompones.** Formaciones aciculares dispuestas a partir de un punto central que pueden tener entre 1 mm y 5 cm de longitud.
- **Guirnaldas.** Agrupaciones de pompones.

Otras formaciones

También conocidas como excéntricas, son formaciones de escaso desarrollo semejantes a los tirabuzones. Debido a su limitada aparición, se cree que se originan como consecuencia de alteraciones en la tensión superficial a través del canal o debido a la existencia de corrientes de aire débiles:

- Pisolitas o perlas de las cavernas. Formadas en pequeños depósitos de agua clara agitada regularmente por la caída de gotas de agua. El núcleo de esta perla es un fragmento de grava o concha sobre el que se van adhiriendo capas sucesivas de carbonato cálcico.
- Estructuras coraloides. Pequeñas acumulaciones formadas por esferas dispuestas unas junto a otras. Se forman como consecuencia de flujos de agua lentos.
- Helictitas. Espeleotemas de crecimiento polidireccional. Presentan un canal central por el discurre el agua.
- Moonmilk. Acumulaciones de cristales microscópicos de color blanco mate.
- Costras. Recubren las arcillas rojas del suelo y de las paredes. Son estructuras compactas formadas por varias capas sucesivas de diversos minerales.

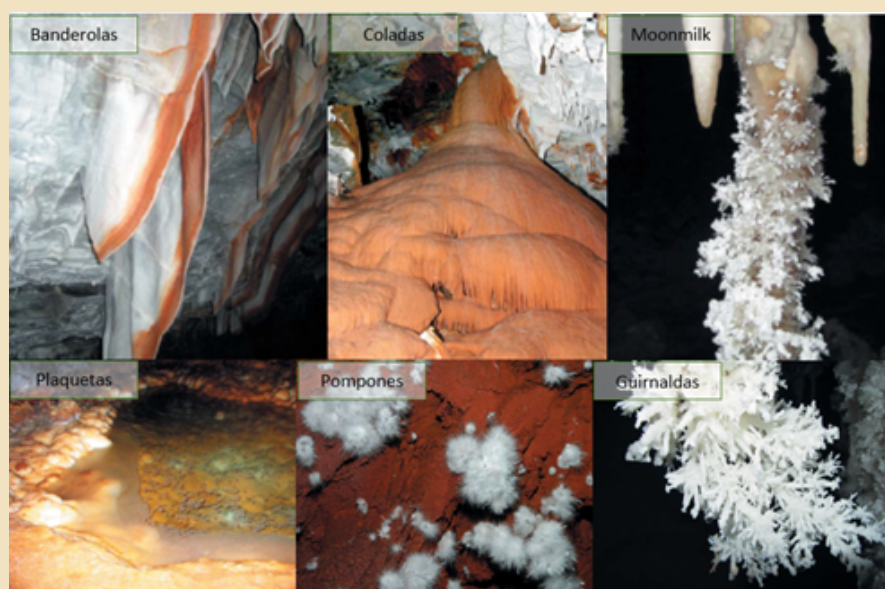


Fig . 3 .23. Diferentes morfologías de espeleotemas (Martín et al., 2015)

Mineral	Fórmula	Origen	Espeleotemas	Imagen
Aragonito	CaCO_3	Mineral primario. Se forma cuando hay un elevado contenido en Mg^{2+} en el agua.	Estalactitas, estalagmitas, columnas, coladas, banderolas, helictitas, coraloides, pompones, guirnaldas costras.	y  https://es.wikipedia.org/wiki/Aragonito
Calcita	CaCO_3	Mineral primario o formado por transformación del aragonito.	Estalactitas, estalagmitas, columnas, coladas, banderolas gours.	y  https://www.julsburillominerals.com/presashop/es/minerales/la-ima/344-calcita-cuando.html
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Mineral formado por transformación de aragonito.	Pompones, moonmilk costras.	y  https://librariansminerals.com/product/dolomite-crystals
Magnesita	MgCO_3	Mineral primario.	Moonmilk costras.	y  https://es.wikipedia.org/wiki/Magnesita
Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Mineral primario.	Costras.	 https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-60659130-selección-mineral-de-yeso-colección-gbm-jm

Tabla 3.1 Minerales más comunes en los espeleotemas (Martín et al., 2015).

3.3. La extraordinaria biodiversidad troglota.

Durante los últimos 2000 años, la humanidad sostenía que las cuevas eran medios desprovistos de vida que únicamente albergaban temporal y accidentalmente algunos seres vivos que, si no lograban salir, perecían. El porqué de esta creencia se basa en la ausencia de luz para que se pueda realizar la fotosíntesis. Sin embargo, la realidad es que en las cuevas habitan animales detritívoros, radicícolas y depredadores, fauna subterránea estudiada por la Bioespeleología.

La Bioespeleología es la rama de la biología encargada del estudio de los organismos que habitan en las cuevas, troglota

Los animales exclusivos de cuevas se denominan troglotas. Son especies muy evolucionadas, con diferencias en el grado evolutivo, que encontraron refugio en este medio frente a condiciones adversas en el exterior, por lo que ninguna de ellas es originaria de una cueva. Asimismo, se denominan relictas o fósiles vivientes porque son restos de antiguas faunas que han conservado las características de sus ancestros, los cuales, en la mayoría de los casos, se han extinguido en el medio epigeo.



Fig 3.24 Hydraphaenops vasconicus, coleóptero endémico del País Vasco.

Por su parte, existe una fauna troglófila, que puede vivir en el exterior si las condiciones se lo permiten, y una fauna troglóxena, que entra en un determinado momento debido a condiciones ambientales adversas y no presenta ninguna característica propia de cavernícolas. Por otro lado, la fauna troglóbica está especializada en la vida en cuevas por lo que son cavernícolas obligados (Galan, 2006).

Teniendo en cuenta estas categorías, los animales asociados a las aguas subterráneas se denominan:

- a. **Estigobios.** Viven y se desarrollan en aguas profundas.
- b. **Estigófilos.** Residen principalmente en surgencias, zonas con ascensos de agua.
- c. **Estigoxenos.** Fauna de arrastre.

La colonización del medio subterráneo en las fases iniciales es producto de una colonización activa, realizada a través de un lento proceso adaptativo, como consecuencia de la búsqueda de refugio ante condiciones adversas, por ejemplo, durante las glaciaciones del Cuaternario. Tras la colonización tiene lugar la adaptación a las nuevas condiciones, lo que implica un proceso evolutivo asociado a diversos cambios como son: elongación corporal y apendicular, cambios fisiológicos y etológicos, metabolismo bajo y longevidad, entre otros. Además, son frecuentes las reducciones estructurales: despigmentación, atrofia ocular, pérdida de alas, etc. Seguidamente tiene lugar la especiación de las poblaciones fundadoras, caracterizadas por su escasa dimensión debido al aislamiento genético, frecuentemente determinado por la existencia de una barrera física. Se han dado numerosos fenómenos de microevolución con la consiguiente aparición de especies endémicas, las cuales representan el 81 % del total de especies que habitan cuevas en el País Vasco (España) (Galan, 2006).

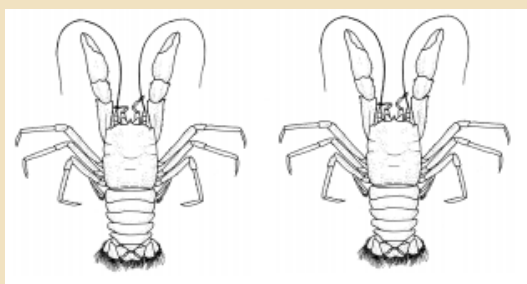


Fig. 3.25. Munidopsis polymorpha (izquierda), crustáceo decápodo y (derecha), copépodo, endemismos cavernícolas presentes en el País Vasco (Galán 1993)

Un endemismo hace referencia a aquel taxón cuya distribución es limitada y propia de un determinado lugar.

3.4. *El cambio climático y su estrecha relación con los sistemas kársticos.*

Durante el Pleistoceno y el Holoceno, la morfología kárstica mediterránea se vio afectada notablemente como consecuencia de sucesivas etapas climáticas de frío/calor y humedad/ sequía. Las zonas calizas sufrieron una intensa meteorización, favoreciendo la aparición de acantilados que hoy en día se conservan.

Actualmente, se busca conservar los paisajes kársticos ya que además de ser un atractivo turístico, albergan uno de los principales factores para el desarrollo de la vida, agua, procedente de los acuíferos. Como se decía anteriormente, se busca la protección de los acuíferos ya que están realmente amenazados por la contaminación (Lewin y Woodward, 2009).

Módulo 4. Cavidades en materiales de origen volcánico.

4.1. Introducción.

Los volcanes forman parte de un fenómeno morfogenético de gran dinamismo debido tanto a las repercusiones geomorfológicas que implica como a la capacidad reorganizadora del terreno en la zona en la que aparece (Romero, 2001). Asimismo, están relacionados con el patrimonio natural (geopatrimonio) teniendo en cuenta tres perspectivas (Dóniz, 2009b).

a. Biodiversidad. Albergan comunidades animales y vegetales singulares.

b. Geodiversidad. Constituyen formaciones geológicas y geomorfológicas únicas.

c. Hidrodiversidad. El agua desempeña un papel fundamental en la gran mayoría de sus ecosistemas



Fig. 3.26. Biodiversidad, geodiversidad e hidrodiversidad

Atendiendo a los aspectos geológicos, los relieves volcánicos dependen de la actividad magmática, especialmente de la extrusiva. Se encuentran asociados a zonas con vulcanismo principalmente alineaciones como arcos de isla y rifts continentales.

Toda actividad volcánica se caracteriza por la llegada a la superficie de la corteza, ya sea oceánica o continental, de una masa magmática compuesta por gases, material más o menos fundido (lava) y material sólido (tefra).

Los volcanes se clasifican según el tipo de magma, de fluido a extremadamente viscoso, y la actividad que presentan, de efusiva a explosiva. Las erupciones en las que las coladas de lava básicas o basálticas, ascienden lentamente (efusivas) hacia la superficie son las interesantes desde el punto de vista de la formación de tubos de lava o tubos volcánicos.

***Las coladas de lava se caracterizan por ser fluidas.
Se emiten cuando un volcán entra en erupción***



Fig. 3.27. Colada de lava procedente de la erupción de un volcán en Hawaii.

Los tubos volcánicos son cuevas que presentan habitualmente forma de túnel y poseen un gran interés turístico, como se verá más adelante.

4.2. 4.1. Conceptos básicos sobre las rocas ígneas.

Las rocas ígneas o magmáticas se originan como consecuencia del enfriamiento y solidificación del magma, roca fundida semisólida sometida a elevadas presiones y temperaturas localizada a gran profundidad. El magma asciende y, al enfriarse (en el exterior o bajo la superficie) cristaliza y solidifica, originando las rocas ígneas, como hemos visto en el punto “1.1. Conceptos geológicos básicos” del Módulo 1 perteneciente a la Unidad Didáctica 1.

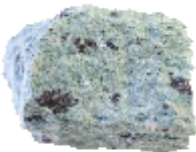
Plutónicas o intrusivas	Volcánicas o extrusivas	Filonianas
Se originan cuando la cristalización y la solidificación tienen lugar dentro del manto de la corteza terrestre, por lo que el enfriamiento es lento que favoreciendo la concentración de minerales que posteriormente cristalizan. Granito, diorita, gabro y peridotita, entre otras.	Se originan tras la erupción volcánica por enfriamiento muy rápido de la lava, de tal manera que no se forman cristales o estos son imperceptibles. Basalto, riolita, traquita y fonolita, entre otras.	El magma va hacia la superficie a través de una gran grieta, denominada filón, solidificándose a medida que asciende y va rellenando el conducto. Durante este ascenso se forman cristales de menor tamaño que el caso de las rocas plutónicas. Apita, pegmatita y diabasa, entre otras.
 Granito	 Traquita	 Diabasa

Tabella 3.2. Tipos de rocas ígneas teniendo en cuenta su formación (Servicio Geológico Mexicano)

4.3. Descripción y origen de los tubos lávicos.

Las rocas ígneas son rocas volcánicas constituidas por minerales poco solubles en agua que, cuando se rompen, dan lugar a residuos insolubles que se depositan. Por ello, las cuevas observadas en las rocas de origen volcánico no se han formado por procesos de disolución sino a partir del enfriamiento rápido de las capas externas de las coladas de lava que se van superponiendo unas a otras, junto con una contracción de la lava todavía incandescente en el interior del conducto generado por esta. Este enfriamiento y contracción provoca hundimientos y vaciados que como consecuencia dan lugar a conductos o tubos volcánicos, semejantes a los de origen kársticos, por lo que presentan interés hidrogeológico, como ya se ha mencionado (Guerrero, 2012).



Fig . 3 . 28. Tubo volcánico en la Cueva de los Verdes, Islas Canarias (España)

4.4. Otros tipos de cavidades.

La diferencia en el tipo de terreno, la composición del magma y la variación de la pendiente condiciona el patrón de formación, existiendo de este modo una clasificación de diferentes tubos volcánicos teniendo en cuenta las anteriores premisas (Guerrero, 2012)

- Lóbulos de drenaje o tubos de superficie.
- Canales lávicos. Tubos volcánicos en los que el techo no llegó a formarse.
- Chimeneas volcánicas. Conductos verticales por los que fluyó lava hasta la superficie y posteriormente se retrajo, dejándolos vacíos. Suelen surgir de conos volcánicos.
- Cráter-pozo ("pit-crater" en inglés). Se forman como consecuencia del drenaje del magma, dejando a su paso un hundimiento en la superficie. Se originan pozos de gran tamaño con paredes abruptas semejantes a los modelados por procesos de disolución.
- Diaclasas volcánicas. Se generan en zonas donde se presentan fisuras ocasionadas por movimientos volcánicos como consecuencia de la tectónica de placas. Al retraerse la lava en estado líquido se produce un vaciado que deja un pozo similar al de una chimenea volcánica.

- Moldes de lava. Se originan cuando la lava discurre alrededor de árboles o animales muerto formando, por consiguiente, cavidades con un núcleo orgánico que son el tiempo se desintegra dejando el hueco con la forma del individuo.

Chimeneas volcánicas



Canal de Lava



Moldes de lava



Cráter-pozo



Fig . 3 . 29. Ejemplos de los diferentes tubos volcánicos.

4.5. *Cavidades volcánicas en Europa.*

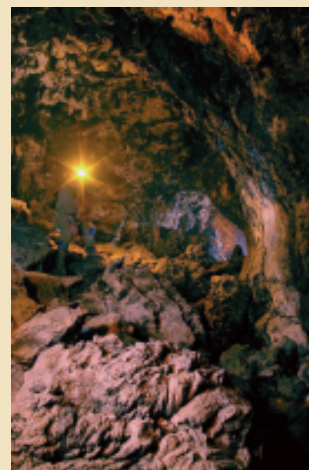
Es bastante común que las cavidades volcánicas aparezcan en regiones de origen volcánico. Dentro del territorio europeo se encuentran varios ejemplos como son: los tubos volcánicos de las Islas Canarias (España), el Geoparque Azores (Portugal) o el volcán Vesubio (Italia).

Islas Canarias (España)

Debido al origen volcánico de las Islas Canarias, existe un gran número de ejemplos de tubos volcánicos. A continuación, se indican algunos. (Naranjo et al., 2016).

- Cueva de La Luna. Es uno de los tubos volcánicos más conocidos de la isla dada la amplitud de su boca de acceso.

Fig . 3.30. Cueva de La Luna, Islas Canarias (España).



- Cueva de Aslobas. Con una antigüedad de casi 14 millones de años, este tubo volcánico es uno de los mejor conservados de las islas. La cueva se divide en dos galerías, en las que residen un gran número de invertebrados, de interés geológico, gracias al elevado nivel de humedad que atesora.
- Los Bucios de Los Marteles. Tubo volcánico de holgadas dimensiones, de hasta 44 m de longitud. Presenta un espacio interior caracterizado por un potente relleno sedimentario con numerosos bloques desprendidos.
- Cueva de Los Verdes. Túnel formado por el volcán Corona hace 5000 años. Se encuentra al norte de la isla de Lanzarote. Presenta uno de los tubos volcánicos más largos de Europa, alcanzando una extensión de 6 km, llegando a conectar el cráter con el mar.



Fig. 3.31. Grotta di Los Verdes, Isole Canarie (Spagna).

Islas Azores (Portugal).

El Geoparque de las Islas Azores es único en el mundo ya que atesora 121 Lugares de Interés Geológico (LIGs) o geositos diversificados entre las nueve islas y la zona marina circundante. En el subsuelo se señalan casi trescientas cavidades volcánicas en forma de grutas, cuevas o grietas.



Fig. 3 . 32 . Gruta volcánica do Carvao, Islas Azores (Portugal)

Campania (Italia).

El Monte Vesubio es un volcán, que aún presenta actividad, situado cerca de Nápoles (Campania). Mundialmente conocido por la erupción que tuvo lugar en el 79 d.C, en la que quedaron sepultadas la ciudad de Pompeya y una parte de Herculano. Actualmente, es la zona volcánica más densamente poblada del planeta, con una población de tres millones de personas.

El equipo de Fiorelli encontró las cavidades que habían dejado los cuerpos enterrados bajo capas de piedra pómez y ceniza. Para conseguir los moldes que se observan en la figura 3.35., derramaron yeso sobre las mismas.



Fig. 3.33. Pompeya bajo el Monte Vesubio (Italia).



Fig. 3.34. Moldes de yeso de las víctimas de la erupción del Vesubio en el 79 d.C. en Pompeya (Italia)

El estudio de caso sobre la gestión de cuevas turísticas europeas del geoparque NN

A) PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS CUEVAS DEL GEOPARQUE:

El Geoparque Novohrad-Nograd debido a la falta de extensas rocas carbonatadas en su creación no es un Geoparque de cuevas, aunque algunas discrepancias de cementación interna en las rocas han dado paso al desarrollo de cavidades, cuevas pseudokarst.

Hay 77 cuevas (43 en el lado eslovaco y 34 en el lado húngaro) dentro del Geoparque, 4 de ellas son endógenas y 73 de origen exógeno.

Las principales 26 cuevas no kársticas se han desarrollado en formaciones sedimentarias y volcánicas.

Se han enumerado 8 cuevas en diferentes areniscas. Por ejemplo, la erosión produjo el Kőlyuk de Kishartyán formado en arenisca glauconítica, que luego se expandió por la actividad humana durante la Edad Media.

18 cuevas se alistan en y en los límites de las rocas volcánicas. Por ejemplo, la cueva de Mucsiny (parte eslovaca) es una cueva de moho de árbol de 12 m de largo en toba de riolita, en el desfiladero de París (parte húngara) se formaron 3 cuevas de moho de árbol más pequeñas en formaciones más jóvenes.

La cueva de burbujas de Sámsonháza (3 m) es una simple burbuja de gas de forma regular. También se sabe que existen cuevas formadas por explosiones de gas y vapor: la cueva Kiskő cerca de la ciudad de Salgótarján (30 m), la cavidad basáltica de Baglyaskő (13 m) y la cueva Függekő en Mátraszőlős (3 m).

El movimiento a lo largo de las líneas de falla y la incisión crearon las cuevas de Szilvaskő-Rift (lado húngaro) en el basalto de la meseta de Medves (con varias cuevas de 20-50 m en una grieta abierta de 300 m de largo y 5-10 m de profundidad). Algunas de estas cuevas están por encima de antiguas operaciones mineras subterráneas.

Las pseudo-cuevas creadas por el desplazamiento de bloques, los cantos rodados que caen unos sobre otros se consideran cuevas consecuencia, la extensión de las cuevas fracturadas de saco de lana son resultado de la eliminación de saprolita entre los bloques.

Las catorce cavidades artificiales alistadas que son consideradas como cuevas por la población local han sido talladas en roca suelta.

A.1. Indique si hay cartografía de las cuevas y si están todas exploradas.

Las cuevas catalogadas se han cartografiado y explorado, pero solo se han estudiado o excavado parcialmente.

A.2. Indique las características geológicas más importantes de las cuevas de la zona: formaciones kársticas, formaciones volcánicas, pinturas rupestres, etc...

El entorno geológico se describe al principio, consúltelo.

El estudio de caso sobre la gestión de cuevas turísticas europeas del geoparque NN

A.3. ¿Existe fauna y flora protegidas asociadas a las cuevas de la zona? ¿Están las cuevas dentro de algún espacio natural protegido?

En Hungría, las cuevas están ex lege protegidas y se definen como espacios subterráneos naturales formados en rocas, que son lo suficientemente grandes para que entre un humano y que se extienden al menos 2 m, bajo tierra. Además del estado ex lege protegido, la mayoría de estas cuevas se encuentran dentro de áreas protegidas del paisaje. Debido a las condiciones climáticas especiales, las cuevas más profundas que no son de exhibición albergan biota protegida.

B) DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES EN LAS CUEVAS DEL GEOPARQUE:

B.1. Indique el número de cuevas que se pueden visitar en el Geoparque: ¿Existe la posibilidad de visitas guiadas? ¿Hay un número limitado de personas que pueden visitar las cuevas?

Debido a las características de las cuevas no kársticas del geoparque, la mayoría de las cuevas son cavidades pequeñas y estrechas, no son cuevas visitables y en su mayoría no se puede entrar. Según sean visitables, se interpretan y organizan visitas guiadas o pueden visitarlas particulares, si el terreno no es difícil hasta 40 personas pueden hacerlo al mismo tiempo.

A la cueva-espectáculo de la cueva Kőlyuk de Kishartyán, que fué usada como escondite-refugio durante los peligrosos tiempos de la Edad Media, solo se puede llegar por unas escaleras empinadas talladas en el acantilado de arenisca marina y se puede entrar, pero menos de 10 personas al mismo tiempo.

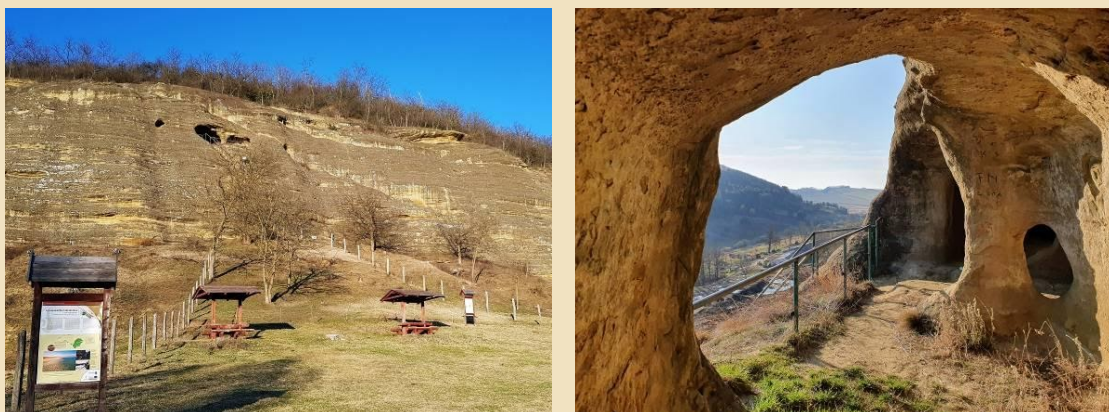


Fig. 3.35. K ő lyuk cueva de Kishartyán

El estudio de caso sobre la gestión de cuevas turísticas europeas del geoparque NN

B.2. Indique las actividades turísticas, culturales o deportivas que se desarrollan actualmente en las cuevas del geoparque (espeleología, actividades deportivas, ecoturismo, etc.).

Las cuevas no kársticas de potencial geoturístico son geositos alistados dentro del Geoparque, pero debido a su limitado espacio interior casi todas las actividades pueden realizarse solo en el exterior, alrededor de su entrada mediante la modalidad de visitas guiadas principalmente.

B.3. ¿Existen rutas por las cuevas del Geoparque? Indique el nombre y la longitud.

Hay muchos senderos de 0, 7-4 km de largo que conducen a las cuevas o senderos, donde las entradas a las cuevas representan una parada a lo largo del sendero, como la cueva de Mucsiny, a la que se puede llegar mediante recorridos temáticos organizados desde Eslovaquia o Hungría (fósiles de Ipolytarnoc) o el sendero Szilvaskő.

B.4. ¿Existen empresas de turismo activo que realicen actividades dentro de las cuevas del Geoparque? Indique el nombre y tipo de actividades realizadas.

Hay algunos empresarios privados que organizan visitas guiadas a las cuevas, pero no dentro de las cuevas.

C) ACCESIBILIDAD Y EQUIPAMIENTO DE LAS CUEVAS GEOPARK:

C.1. Describir los equipos e infraestructuras asociados a las cuevas del Geoparque: señalización, centro de visitantes, etc.

Hay paneles de interpretación y publicaciones disponibles sobre las cuevas. La Dirección del Parque Nacional GUIDE @ HAND Bükki es una aplicación móvil para smartphones que permite a los visitantes sin conexión descubrir las cuevas.

C.2. Indique si se han realizado actividades de conservación, restauración y acondicionamiento en las cuevas o si existen planes futuros para su implementación.

Algunas entradas de cuevas se bloquearon por seguridad, a lo largo de las fisuras de Szilvaskő-rift se cercaron y se repararon los senderos.

C.3. ¿Las cuevas son accesibles para el público discapacitado? ¿Hay planes de accesibilidad disponibles para el futuro?

No

El estudio de caso sobre la gestión de cuevas turísticas europeas del geoparque NN

C.4. ¿Es necesario algún permiso especial para el desarrollo de actividades de turismo activo dentro o cerca de las cuevas? Di cuales

Sí, el turismo activo en grupos está controlado, se necesita obtener permiso de la autoridad de protección ambiental.

C.5. ¿Es posible llegar a las cuevas en transporte público o privado? ¿Existe una red de transporte adecuada en la zona?

Las cuevas no kársticas del Geoparque se encuentran a una distancia de 1 a 5 km a pie de los aparcamientos o paradas de transporte público.

D) EDUCACIÓN E INVESTIGACIÓN:

D.1. ¿Están abiertas las cuevas para actividades educativas? Enumere los más importantes.

Las escuelas pueden visitar las entradas de las cuevas y el material educativo sobre las cuevas está disponible para el público. A veces se organizan conferencias, como en el caso del centenario de los estudios de las cuevas de Szilvaskő-rift en 2017.

D.2. ¿Existen publicaciones y / o estudios científicos asociados a las cuevas de la zona? Indique cuales.

Sí, detalles de eso justo arriba.

D.3. ¿Las cuevas están integradas en una red nacional y / o internacional? ¿Tienen las cuevas algún reconocimiento / premio nacional o internacional? Indique cuales.

Sí, las cuevas están integradas en la red nacional, pero no representan las únicas con significado universal.

Estudio de caso sobre la gestión de cuevas turísticas europeas del Geoparque de las Sierras Subbéticas

A) PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS CUEVAS DEL GEOPARQUE:

Existen alrededor de 900 cuevas, sumideros y cavidades catalogadas en Sierras Subbéticas UGGp. Algunas de las más importantes son: Murciélagos, Encantada, Macarrones, Talillas, Los Tocinos o las cuevas de Mármoles, el sumidero de Cabra y el ponor de Nava. Son unas 250 cuevas debidamente nombradas. El resto, es decir, los más pequeños, se enumeran con un código alfanumérico.

A.1. Indique si hay cartografía de las cuevas y si están todas exploradas.

Aproximadamente 750 de las cuevas catalogadas han sido exploradas y convenientemente cartografiadas.

A.2. Indique las características geológicas más importantes de las cuevas de la zona: formaciones kársticas, formaciones volcánicas, pinturas rupestres, etc...

El sustrato geológico del geoparque consiste en una pila muy gruesa de calizas del Jurásico, intercaladas por arcillas / evaporaciones del Triásico y margas del Cretácico. Cuando estas rocas se doblaron y empujaron, un gran volumen de calizas quedó expuesto en la superficie. Esto, las condiciones climáticas adecuadas y un largo tiempo de exposición dieron como resultado el desarrollo de un sistema kárstico muy intenso. Todas las cuevas del geoparque están relacionadas con este proceso de karstificación.

A.3. ¿Existe fauna y flora protegidas asociadas a las cuevas de la zona? ¿Están las cuevas dentro de algún espacio natural protegido?

Existe fauna amenazada bajo protección en varias cuevas de la Subbética, específicamente quirópteros y troglófauna, incluyendo aquí una especie endémica de milpiés reportada en la Cueva Murciélagos. Las cifras de protección actuales son diversas. Por norma general, todas las cuevas del geoparque están protegidas por la figura de Parque Natural. Además, la existencia de vestigios arqueológicos en numerosas cuevas proporcionan figura de protección adicional bajo la denominación de Bien de Interés Cultural. Se le otorgó una figura extra de protección a la Cueva Murciélagos cuando también fue declarada Monumento Natural en 2001.

Estudio de caso sobre la gestión de cuevas turísticas europeas del Geoparque de las Sierras Subbéticas

B) DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES EN LAS CUEVAS DEL GEOPARQUE:

B.1. Indique el número de cuevas que se pueden visitar en el Geoparque: ¿Existe la posibilidad de visitas guiadas? ¿Hay un número limitado de personas que pueden visitar las cuevas?

Hay dos cuevas en las Sierras Subbéticas UGGp que pueden ser visitadas por no espeleólogos, las cuevas Murciélagos y Encantada. Ambos son visitados actualmente con apoyo de orientación. Además de las actividades de visita desarrolladas en estas dos cuevas, el acceso a los visitantes no turísticos está regulado por la entidad gestora del geoparque en coordinación con la Federación Andaluza de Espeleología.

B.2. Indique las actividades turísticas, culturales o deportivas que se desarrollan actualmente en las cuevas del geoparque (espeleología, actividades deportivas, ecoturismo, etc.).

La Cueva de los Murciélagos es el Geositio más visitado del Geoparque y uno de los Monumentos Naturales más reconocidos y visitados del sur de España. Desarrollado a partir de un sistema de fallas y con casi 1000 m de altura ofrece un circuito de unos 2 km mostrando una rica plétora de espeleotemas de enorme belleza. También es muy reconocida en toda Europa como una de las cuevas más importantes para el Neolítico y especialmente para los restos arqueológicos del Paleolítico Superior.

La otra cueva visitada se llama Encantada. En las paredes de esta cueva de 40 m de longitud se reproducen varias pinturas neolíticas y calcolíticas de cuevas vecinas y más inaccesibles, dando así al visitante la posibilidad de contemplarlas desde un punto de vista más favorable. Aunque la cueva está abierta a todos los visitantes, hay actividades especialmente diseñadas para escuelas primarias y secundarias.

Actualmente se están investigando otras cuevas en busca de vestigios arqueológicos. Algunos de ellos incluso están previstos para ser visitados al público en general por una empresa turística, obviamente con restricciones y bajo regulación.

La actividad deportiva está actualmente restringida a grupos de espeleólogos expertos que cuenten con las competencias técnicas y físicas suficientes para ingresar a las cuevas.

B.3. ¿Existen rutas por las cuevas del Geoparque? Indique el nombre y la longitud.

Las dos cuevas abiertas para visitar están ubicadas en la parte norte del Geoparque. Allí, los visitantes también tienen acceso a diferentes rutas y geositios, la mayoría de ellos igualmente en relación al intenso proceso de karstificación, pero

Estudio de caso sobre la gestión de cuevas turísticas europeas del Geoparque de las Sierras Subbéticas

mostrando diferentes manifestaciones. Los senderos señalizados más cercanos son el sendero del río Bailón, con 11,8 km de longitud y el sendero de Buitreras, con 17,4 km. También existe una ruta circular que conecta Zuheros y Luque, que permite a los visitantes acceder a las dos cuevas actualmente abiertas al público, la Cueva Murciélagos en Zuheros y la Cueva Encantada en Luque.

B.4. ¿Existen empresas de turismo activo que realicen actividades dentro de las cuevas del Geoparque? Indique el nombre y tipo de actividades realizadas.

Las cuevas Murciélagos y Encantada son administradas por los ayuntamientos de Zuheros y Luque, respectivamente. Las actividades que se desarrollan habitualmente en ambos casos son turísticas y educativas. Actualmente se está evaluando la posibilidad de un área de la Cueva Murciélagos para actividades espeleo-turísticas.

C) ACCESIBILIDAD Y EQUIPAMIENTO DE LAS CUEVAS DEL GEOPARQUE:

C.1. Describir los equipos e infraestructuras asociados a las cuevas del Geoparque: señalización, centro de visitantes, etc.

La Cueva de los Murciélagos cuenta con un centro de interpretación cercano a la entrada principal, denominado Ecomuseo, con información sobre los aspectos técnicos de la cueva así como sobre los restos neolíticos y paleolíticos de gran relevancia en ella. El Ecomuseo también ofrece folletos y merchandising diverso. En el camino que une el Ecomuseo y la Cueva hay un mirador equipado con paneles interpretativos que ofrece una espléndida vista de otro geositio del Geoparque, el frente de empuje Subbético.

Cabe destacar que el Ayuntamiento de Zuheros, que gestiona la Cueva Murciélagos, ofrece paquetes turísticos que incluyen, junto con la visita a la Cueva y Ecomuseo, una visita al Museo Arqueológico para ver la exposición monográfica de objetos prehistóricos e históricos de la cueva.

Por otro lado, la Cueva Encantada no tiene un centro de interpretación, pero los guías ofrecen con mucho entusiasmo a los visitantes folletos y recreaciones sencillas con lámparas.

Hay cuevas señalizadas distintas de las dos mencionadas, como por ejemplo la Sima de Cabra, conocido por ser citado en la mítica novela de Cervantes Don Quijote.

Estudio de caso sobre la gestión de cuevas turísticas europeas del Geoparque de las Sierras Subbéticas

C.2. Indique si se han realizado actividades de conservación, restauración y acondicionamiento en las cuevas o si existen planes futuros para su implementación.

Desde el descubrimiento de la Cueva Murciélagos en 1938, en los tiempos modernos, se han desarrollado muchos proyectos de investigación en la cueva que brindan información crítica sobre el Paleolítico y Neolítico del sur de Europa. Los abundantes restos arqueológicos han ofrecido detalles sobre el estilo de vida de los habitantes, sus herramientas y su alimentación. En coordinación con esta actividad investigadora también se han tenido en cuenta diferentes campañas de restauración y acondicionamiento para facilitar y acomodar las actividades de visita.

La Cueva Encantada fue restaurada y acondicionada para actividades de visita en 2004. Como se dijo anteriormente, se reprodujeron muchas pinturas neolíticas y calcolíticas descubiertas en cuevas adyacentes y más inaccesibles, tarea que implicó importantes trabajos de investigación arqueológica y plástica.

También se han estudiado otras cuevas con restos arqueológicos, mientras que en la actualidad se están acondicionando otras para estar abiertas a la visita.

C.3. ¿Las cuevas son accesibles para el público discapacitado? ¿Hay planes de accesibilidad disponibles para el futuro?

La cueva de la Encantada es accesible para personas con discapacidad mientras que la cueva de Murciélagos no lo es debido a su orografía vertical y compleja.

Recientemente se realizó un estudio para implementar un sistema de poleas que facilite el ingreso de personas discapacitadas a la Sima de Cabra. Sin embargo, la idea fue rechazada debido a la complejidad, el riesgo y los posibles problemas de conservación.

C.4. ¿Es necesario algún permiso especial para el desarrollo de actividades de turismo activo dentro o cerca de las cuevas? Di cuales.

Sí, el turismo activo en cuevas y cavidades solo está permitido a empresas de turismo activo acreditadas. Deben solicitar una licencia a la entidad gestora del Geoparque para realizar estas actividades. Para obtener la licencia las empresas deben contar con planes de rescate ante posibles emergencias y todos los monitores que acompañan a los grupos deben contar con una formación técnica especializada.

Estudio de caso sobre la gestión de cuevas turísticas europeas del Geoparque de las Sierras Subbéticas

C.5. ¿Es posible llegar a las cuevas en transporte público o privado? ¿Existe una red de transporte adecuada en la zona?

La Cueva de la Encantada se encuentra dentro del pueblo de Luque, por lo que es muy accesible en transporte público y privado. La Cueva Murciélagos, ubicada a 4 km de Zuheros, es accesible por carretera, con transporte privado o simplemente caminando.

D) EDUCACIÓN E INVESTIGACIÓN:

D.1. ¿Están abiertas las cuevas para actividades educativas? Enumere los más importantes.

Las dos cuevas mencionadas anteriormente están abiertas regularmente a visitas educativas. Sus restos arqueológicos y pinturas son excelentes para comprender la vida y el arte paleolítico, neolítico y calcolítico en el territorio. Un gran número de escuelas, en su mayoría escuelas primarias, vienen de muchas otras localidades de Andalucía para visitar ambas cuevas. Algunas escuelas secundarias y ocasionalmente estudiantes de diferentes universidades también visitan las cuevas.

D.2. ¿Existen publicaciones y / o estudios científicos asociados a las cuevas de la zona? Indique cuales.

Las diferentes excavaciones arqueológicas realizadas desde los años sesenta en la Cueva Murciélagos han dado lugar a un importante número de publicaciones. Estos sugieren que los humanos han ocupado la cueva desde el Paleolítico medio (hace 35.000 años) hasta la época romana, dejando importantes manifestaciones del arte Paleolítico medio, Neolítico y Bronce, incluyendo vasijas, collares, brazaletes y especialmente dolor de animales con cuernos, ojos y humanos. A partir de estas expresiones artísticas, así como de los restos de comida, semillas, herramientas y huesos recuperados, los investigadores han reconstruido la vida de los antiguos ocupantes de la cueva, han proporcionado información valiosa sobre antiguas rutas comerciales y han documentado una de las más antiguas evidencias del cultivo de adormidera en Europa.

D.3. ¿Las cuevas están integradas en una red nacional y / o internacional? ¿Tienen las cuevas algún reconocimiento / premio nacional o internacional? Indique cuales.

La Cueva de los Murciélagos forma parte de la Asociación Española de Cuevas Turísticas, que a su vez está integrada en la Asociación Internacional de Cuevas Turísticas. En cuanto a la segunda pregunta, la Cueva de los Murciélagos fue declarada Monumento Natural en 2001, como se dijo anteriormente, debido a la enorme importancia de los restos arqueológicos del Paleolítico Medio y Neolítico.

ANEXO. Módulo 5. Cuevas turísticas europeas

El Espeleoturismo se define como la actividad de visitar con fines recreativos mientras que por otro lado, la Espeleología es la ciencia encargada de estudiar las cuevas y el modelado kárstico teniendo en cuenta su composición, formación y características físicas.

Es una de las actividades turísticas de más tradición, junto con el turismo vinícola y de bicicleta, basada en el interés de la gente por las cuevas ya sea visitándolas o conociendo más acerca de la espeleología. Durante las últimas décadas los Geoparques, áreas que promueven la protección y el uso de patrimonio geológico, se han convertido en nuevos lugares de interés turístico.

Muchas de las cuevas con más de 25000 visitantes/año se encuentran en Europa, por lo que muchas familias viven del espeleoturismo, ya sea directa o indirectamente, siendo de este modo una fuente económica importante para muchos países.

Se adjunta como anexo un listado de Cuevas turísticas europeas que se puede consultar aquí

BIBLIOGRAFÍA

- Adrados, L., et al. 2012. Guía Geológica del Parque Nacional de los Picos de Europa. Asturias. Ed. Adrados. Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- Achurra, L. (nd). Introducción a la descripción de las rocas sedimentarias. Disponible en: http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/mine_mod23.pdf [Consultada: marzo de 2020].
- Barr, T. (1968) Cave ecology and the evolution of troglobites. *Evolutionary Biology*, 2, pp. 35-102.
- Carcavilla, L., Ruíz, R. y Rodríguez, E. (2008) Guía geológica del Parque natural del Alto Tajo. pp. 78-102. Junta de Comunidades de Castilla La Mancha
- Durán, J.J. (2006) Guía de las cuevas turísticas de España. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Asociación Española de Cuevas Turísticas. Madrid
- Galán, C. (1991) Disolución y génesis del karst en rocas carbonáticas y rocas silíceas: un estudio comparado. *MUNIBE (Ciencias Naturales – Nature Zientziak)*, 43: 43-72. San Sebastián.
- Galán, C. (1993) Hypogean fauna from Guipuzcoa: ecology, biogeography and evolution. *MUNIBE (Ciencias Naturales – Nature Zientziak)*, 45: 3-163. San Sebastián.
- Galán, C. (2006) Conservation of Guipuzkoan cave fauna: general context, comparative biodiversity, relicts and endemisms. *Sociedad de Ciencias Aranzadi*.
- Galán, C. & Herrera, F. (2014) Cave fauna: environment, speciation and evolution. *Aranzadi zientzia alkartea*.
- Geze, B. 1974. Le "trou et son "environnement" *Spelunca Mémoires*, 8, pp.3-47.
- Goldscheider, N. (2005) Karst groundwater vulnerability mapping: application of a new method in the Swabian Alb, Germany. *Hydrogeology Journal*, 4, 555-564.
- Guerrero, P. (2012) Cueva volcánica. Disponible en: <https://geografia.laguia2000.com/general/cueva-volcanica> [Consultada: marzo 2020].
- Hernández, D. (2017) El modelado kárstico, cuevas y dolinas. Disponible en: <https://geologicalmanblog.wordpress.com/2017/07/19/modelado-karstico/> [Consultada: marzo de 2020].
- Lewin, J. y Woodward, J. (2009) Karst geomorphology and environmental change. *The Physical Geography of the Mediterranean*, 287-317. Oxford University Press, Oxford.
- Martín, A., Martín, R. y Alonso, A.M. (2015) La cueva está viva y es un laboratorio natural. *Monumento natural Cueva de Castañar* (eds. A. Martín, P. Muñoz y E. Martínez), pp. 72-100, Junta de Extremadura.

BIBLIOGRAFÍA

- Naranjo, M., Martín, S. Y Fernández, O. (2016) Catálogo de cavidades volcánicas de Gran Canaria (ed. Sociedad Entomológica Canaria Melansis), Cabildo de Gran Canaria, Las Palmas.
- Pedraza, J. (1996) Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Madrid. Ed. Rueda SL.
- Pinillos, L.M. (2015) Túneles en macizos calcáreos karstificados: impacto en las obras subterráneas de los fenómenos kársticos, su evaluación y tratamiento. Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno. UPM.
- Renault, Ph. 1970. La formation des cavernes. Coll. Que sais-je? n° 1400, P.U.F., Paris, p. 127.
- Romero, C. (2001) Geomorfología de paisajes volcánicos. Evolución reciente de la Geomorfología española (1980-2000) (ed. A. Gómez y A. Pérez), pp.69-96. Tokio.
- Servicio Geológico Mexicano (nd.) Rocas ígneas. Disponible en: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/Rocas-igneas.html> [Consultada: marzo 2020]
- Yarham, R. 2010. How to read the landscape. Ed.Ivy Press Limited.

RECURSOS ONLINE:

<www.showcaves.com> [Consultada: octubre 2019].
<www.germany.travel/es/> [Consultada: octubre 2019].
<<https://destinoalemania.com>> [Consultada: octubre 2019].
<www.bergfex.es/sommer/deutschland> [Consultada: octubre 2019].
<www.austria.info> [Consultada: octubre 2019].
<www.slovenia.info/es/destinos/atracciones-turisticas> [Consultada: octubre 2019].
<www.czechtourism.com/c/bozkov-dolomit-caves/> [Consultada: octubre 2019].
<www.caves.cz/> [Consultada: octubre 2019].
<www.cuevasturisticas.es/> [Consultada: octubre 2019].
<www.grottes-en-france.com> [Consultada: octubre 2019].