

## Distribución, caracterización y síntesis evolutiva del karst en Andalucía

Juan José Durán <sup>(1)</sup>, Jerónimo López Martínez <sup>(2)</sup> y Mercedes Vallejo <sup>(1)</sup>

### RESUMEN

En Andalucía existe una importante presencia de macizos kársticos, distribuidos en las tres grandes unidades morfoestructurales en que puede subdividirse el territorio andaluz: Sierra Morena, perteneciente al Macizo Hespérico; la depresión del Guadalquivir y la Cordillera Bética, siendo especialmente abundantes en la última unidad citada. Los acuíferos kársticos andaluces ocupan 7.000 km<sup>2</sup> y contienen unos recursos hídricos medios renovables anualmente de más de 2.000 hm<sup>3</sup>. En Andalucía son frecuentes tanto las formas exokársticas, con numerosos poljes, campos de dolinas y cañones fluviokársticos, como las endokársticas, con 63 cavidades que superan los 100 m de desnivel y 34 que sobrepasan los 1.000 m de desarrollo. Abundan los depósitos vinculados al karst: espeleotemas y edificios travertínicos, antiguos o funcionales. Además de la gran cantidad de manantiales que aparecen ligados al karst, existen también fuentes termales, así como manantiales con aguas de mineralización especial, habiéndose establecido balnearios en algunos de ellos. Por lo que respecta a su contenido arqueológico, paleontológico y paleoantropológico, el endokarst andaluz es extraordinariamente rico y variado, con numerosos yacimientos estudiados del Plioceno y del Cuaternario, incluyendo algunas cavidades con representaciones artísticas del Pleistoceno Superior y del Holoceno. Diversas cavidades andaluzas se encuentran habilitadas para su uso turístico. Los paisajes y los procesos kársticos están íntimamente relacionados con algunos de los principales espacios naturales andaluces, presentando en su conjunto una considerable importancia medioambiental y socioeconómica. En este trabajo se presentan las características generales, distribución y algunas consideraciones sobre la evolución del karst andaluz.

**Palabras Clave:** Karst, Andalucía, España, Mediterráneo Occidental.

### ABSTRACT

Karstic massifs are abundant in Andalucía, being distributed in the three morphostructural units in which this region can be subdivided: Sierra Morena, belonging to the Hesperian Massif, the Guadalquivir basin, and the Betic Cordillera in which the karstic structures are specially abundant. The Andalusian karstic aquifers occupy 7000 km<sup>2</sup>, and they have an average renewable hydraulic resources of more than 2000 hm<sup>3</sup> per year. Both, the exokarstic landforms –poljes, doline fields, and fluviokarstic canyons–, and the endokarstic landforms –with 63 cavities which exceed 100 m difference, and 34 which exceed 1000 m of development. Deposits related to karst are abundant: speleothems, and old and recent travertine buildings. Besides of the great amount of springs related to karstic processes, there are also thermal and mineral springs (fountains), some of which are utilized as health resorts. With respect to its archaeological, palaeontologic and palaeoantropologic content, the Andalusian endokarst is extraordinarily rich and assorted, with numerous Pliocene and Quaternary studied deposits, including some cavities with artistic representations of the Upper Pleistocene and of the Holocene. Several Andalusian cavities are prepared for their tourist use. The landscapes and the karstic processes are intimately related to some of the principal Andalusian natural spaces, presenting in their joint a considerable environmental and socioeconomic importance. In this work the general characteristics, distribution and some considerations on the evolution of the Andalusian karst are commented.

**Key words:** Karst, Andalucía, Spain, Western Mediterranean.

### INTRODUCCIÓN

El entorno del Mar Mediterráneo presenta abundantes afloramientos de rocas carbonatadas (calizas, dolomías y mármoles), así como de materiales evaporíticos (yeso, anhidrita y halita). Por ello, esta región constituye un área destacada, a nivel mundial, en lo que se refiere al desarrollo de sistemas kársticos, con el consiguiente establecimiento de los característicos rasgos geomorfológicos (exokársticos y endokársticos) e hidrogeológicos propios de estos sistemas. En este contexto del Mediterráneo Occidental, se sitúa la Península Ibérica y en particular el territorio andaluz. Aproximadamente el

29% del territorio español está ocupado por rocas potencialmente karstificables, lo cual supone unos 110.000 km<sup>2</sup> de rocas carbonatadas y 35.000 km<sup>2</sup> de materiales evaporíticos (Durán y López Martínez, 1989).

En la Comunidad Autónoma de Andalucía existen tres grandes unidades morfoestructurales: Sierra Morena, perteneciente al Macizo Hespérico; la depresión del Guadalquivir, y la Cordillera Bética. Los sistemas kársticos son mucho más abundantes en esta última, aunque se encuentran presentes en las tres unidades. La superficie ocupada por los acuíferos kársticos andaluces es de 7.000 km<sup>2</sup>, albergando unos recursos hídricos medios renovables anualmente, de más de 2.000 hm<sup>3</sup> (Benavente *et al.*, 1986). En relación con la dinámica actual, los valores de erosión kárstica más representativos son medios y altos, del orden de 0,03-0,07 mm/año (Durán, 1996). En Andalucía son frecuentes las formas exokársticas, con

<sup>(1)</sup> Instituto Tecnológico Geominero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.

<sup>(2)</sup> Dpto. Química Agrícola, Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid.

numerosos poljes, campos de dolinas y cañones fluviokársticos como macromorfologías dominantes, y las endokársticas, con 63 cavidades que superan los 100 m de desnivel y 34 que sobrepasan los 1.000 m de desarrollo (González Ríos, 1996); también son frecuentes los depósitos vinculados al karst, con un número importante de edificios travertínicos, antiguos o funcionales. Por otro lado, además de la gran cantidad de manantiales que aparecen ligados al karst, existen también manantiales termales, así como manantiales con aguas de mineralización especial en los que se han establecido balnearios que han llegado a constituir en algunos momentos de su historia parte fundamental de la economía de determinadas localidades, como es el caso de los balnearios de Carratraca en Málaga, Lanjarón en Granada, Fuente Amarga en Cádiz, Marmolejo en Jaén, o Sierra Alhamilla en Almería.

Los paisajes y los procesos kársticos están íntimamente relacionados con algunos de los principales espacios naturales andaluces (Ramírez Trillo, 1992). Buenos ejemplos de esta relación pueden ser El Torcal de Antequera, Sierra Mágina, las sierras de Cazorla y Segura, la Laguna de Fuentepiedra y el karst yesífero de Sorbas, entre otros espacios protegidos.

Igualmente, por lo que respecta a su contenido arqueológico, paleontológico y paleoantropológico, el endokarst andaluz es extraordinariamente rico y variado, con numerosos yacimientos estudiados del Plioceno y del Cuaternario, incluyendo algunas cavidades con representaciones artísticas del Pleistoceno Superior y del Holoceno (p.e. Cueva de la Pileta, Cueva de Ardales, Cueva de Nerja, entre muchas otras). Estos aspectos de especial interés han llevado a diversos organismos y particulares a la habilitación de ciertas cavidades para su uso turístico, lo que supone un aspecto importante desde el punto de vista socioeconómico (Durán, 1994).

## **EL KARST EN SIERRA MORENA**

Los materiales karstificables de naturaleza carbonatada en Sierra Morena, se presentan como afloramientos de escasa extensión. Las potencias no suelen ser importantes (del orden de 50 m), así como las morfologías kársticas y el interés hidrogeológico de estas formaciones. Estos niveles calcáreos se encuentran, frecuentemente, limitados a muro y a techo por series impermeables (del Val y Hernández, 1989).

Los materiales karstificables son fundamentalmente mármoles dolomíticos del Precámbrico-Cámbrico inferior, en los que se han desarrollado importantes formas endokársticas, como la Gruta de las Maravillas (Aracena, Huelva) en el extremo occidental de Sierra Morena. Con un desarrollo longitudinal superior a 1.200 m, esta cavidad se sitúa en un lentejón de mármoles

precámbricos (Apalategui *et al.*, 1984), intercalado entre un conjunto de gneises feldespáticos y en contacto con granitos. Esta zona kárstica en la que se desarrolla la Gruta de las Maravillas, está incluida en el espacio natural protegido que constituye el Parque Natural de la Sierra de Aracena y Picos de Aroche. Otro rasgo importante, en este caso exokárstico, son los depósitos travertínicos de decenas de metros de espesor, como los de la Peña de Arias Montero, que se encuentran colgados respecto al nivel de base fluvial, reflejando un sistema hidrogeológico pretérito más importante que el actual (Díaz del Olmo y Álvarez, 1987). También existen morfologías paleokársticas, cuyo máximo exponente es el Cerro del Hierro (Sevilla), antigua explotación minera que aprovechaba las alteritas que rellenaban un megalapiaz tropical.

## **EL KARST EN LA DEPRESIÓN DEL GUADALQUIVIR**

La depresión del Guadalquivir constituye una cuña sedimentaria ligada tectosedimentariamente al orógeno bético. Aunque la mayor parte de los materiales que rellenan esta depresión son de carácter detrítico, y escasamente karstificables, existen algunas manifestaciones kársticas. Así, por ejemplo en los yesos triásicos incluidos en los vertidos olistostrómicos del borde sur existen algunas cavidades de cierta importancia, como la Cueva del Yeso, en Baena (Córdoba), con 1.843 metros de desarrollo. Por otra parte, Dabrio, Zazo y Goy (1987) citan varios episodios de paleokarstificación subaérea sobre los materiales conglomeráticos carbonatados del Plioceno Superior y del Pleistoceno de la bahía de Cádiz.

## **EL KARST EN LA CORDILLERA BÉTICA**

La Cordillera Bética, de compleja estructura y gran extensión, presenta un elevado número de macizos carbonatados, susceptibles de karstificación, aunque no todas las unidades geológicas de la cordillera presentan las mismas aptitudes frente a los procesos de disolución y el consiguiente desarrollo de los sistemas kársticos. La diversidad morfoestructural y bioclimática de la cordillera y su historia geológica reciente, han originado la configuración de una geomorfológica kárstica muy variada.

La distinción de las grandes unidades geológicas de la Cordillera Bética, basada en criterios paleogeográficos y estructurales, presenta un claro reflejo geomorfológico e hidrogeológico, por lo que su caracterización es fundamental para el estudio del karst. Así, la Cordillera Bética se divide en Zona Externa y Zona Interna, subdivididas ambas a la vez en unidades de menor entidad, y entre las que se sitúan diversas depresiones intramontañosas.

Además de los macizos carbonatados, existen también importantes formaciones que incluyen materiales yesíferos y salinos susceptibles de karstificación, correspondientes al relleno mioceno de algunas depresiones intramontañosas, y al Trías de la Zona Externa.

### **El karst en la Zona Externa**

La Zona Externa de la Cordillera Bética está constituida por materiales mesozoicos y terciarios de naturaleza margosa y carbonatada. Estos sedimentos se depositaron en una cuenca marina de tipo geosinclinal y, posteriormente, se estructuraron en mantos de corrimiento, con un zócalo (no aflorante) y una cobertera bien diferenciados. En general, los términos karstificables pertenecen al Jurásico, fundamentalmente al Lías, aunque también existen materiales karstificables del Cretácico Superior, sobre todo en las unidades de posiciones más septentrionales.

Desde el punto de vista geomorfológico, la Zona Externa se caracteriza por la alternancia de fuertes relieves carbonatados, con áreas más deprimidas de naturaleza margosa. Los macizos carbonatados suelen corresponder a estructuras complejas, con tendencias antiforales, y frecuentemente se encuentran muy fracturados, plegados y escamados. Esto condiciona igualmente la hidrogeología de los macizos kársticos, aislados por materiales detríticos impermeables.

Las unidades en que se divide la Zona Externa son: Prebético, Unidades Intermedias, Subbético Externo, Subbético Medio, Subbético Interno y Penibético.

El Prebético presenta abundantes materiales karstificables correspondientes al Jurásico y Cretácico, si bien una gran parte se encuentra fuera de Andalucía. Sin embargo, dentro de esta Comunidad Autónoma si existe un sector muy importante, en el que pueden observarse fenómenos kársticos bien desarrollados, aunque escasamente estudiados. Se trata de la Sierra de Cazorla, situada en el extremo más occidental del Prebético y con una cota máxima de 2.133 m s.n.m. En esta sierra nace a 1.340 m de altitud, en la Cañada de las Fuentes, un río importante de origen kárstico: el Guadalquivir. Hacia el este, se encuentra la Sierra de Segura, a caballo entre las comunidades autónomas de Andalucía y Castilla-La Mancha, pero con las formas kársticas más importantes situadas ya en la provincia de Albacete.

En el área meridional se localizan la Sierra de la Guillimona y el sector de Pontones, en Jaén, donde una importante surgencia kárstica da lugar al nacimiento del río Segura (López Bermúdez y López Limia, 1989). Y, por último, en Castril (Granada), se localiza la Cueva de Don Fernando (con más de 2.000 m de desarrollo y 205 m de profundidad) y el nacimiento del río Castril, impor-

tante surgencia kárstica.

En relación con el karst desarrollado en el Prebético, cabe destacar los espacios naturales protegidos correspondientes a los parques naturales de la Sierra de Castril (Granada) y de las Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas. Este último fue declarado Reserva de la Biosfera en 1983.

Las Unidades Intermedias, bastante discontinuas y constituidas por materiales fundamentalmente margosos, presentan una baja aptitud a la karstificación. Únicamente, en los alrededores de la ciudad de Jaén se pueden observar algunos fenómenos de disolución.

Dentro del Subbético Externo existen gran cantidad de macizos kársticos, entre los que destacan el macizo de Cabra (Córdoba), con tres poljes de grandes dimensiones y la Sima de Cabra, de 116 m de desnivel (González Ríos, 1994), y la Sierra Mágina (Jaén), donde se desarrolla un buen ejemplo de "karst supraforestal mediterráneo" (García-Rossel y Pezzi, 1975), a cotas superiores a los 2.000 m, con dolinas de tipo nival y fenómenos actuales de periglaciario. En esta sierra se localizan las simas de Hoyo Hundido, con un desnivel de 186 m, y del Pozo, con un desarrollo de 373 m y un desnivel de 147 m (González Ríos, 1994).

Otros macizos de menor interés son la Sierra de Rute (Córdoba), donde se encuentra la Garganta de la Hoz, en cuyo extremo meridional surge el Manantial de la Hoz, fuente vaclusiana kárstica de 1.000 l/s (actualmente captada y regulada para abastecimiento), la Sierra de Estepa, la Sierra de la Pandera y la Sierra de Dúdar.

Los materiales karstificables del Subbético Externo son de edad Jurásica, fundamentalmente de naturaleza dolomítica, que alternan con calizas oolíticas (Lías) y/o calizas nodulosas (Dogger-Malm) (Lhènaff, 1986a). El gran espesor de estos materiales y la estructura masiva debido a los plegamientos son los factores que favorecen la karstificación de estos macizos (Díaz del Olmo y Delannoy, 1989).

Dentro de los espacios naturales protegidos se incluyen algunos de los macizos kársticos del Subbético Externo anteriormente descritos. Este es el caso del parque natural de Sierra Mágina (Jaén) o el macizo de Cabra (Córdoba), incluido en el parque natural de las Sierras Subbéticas.

El Subbético Medio presenta una mayor abundancia de series margosas del Jurásico Medio y Superior, por lo que presenta un menor desarrollo de la karstificación, apareciendo morfologías kársticas de interés secundario, tan sólo en dolomías y calizas del Lías. Este mayor espesor de materiales margosos hace que el desarrollo de la karstificación dependa principalmente de la elevación estructural de los pliegues (Lhènaff, 1986b). Así, apare-

cen morfologías de interés en la Sierra de Alta Comba (Jaén), la Sierra de Montillana (Granada), la Sierra de Lucena (Córdoba), y en las sierras de la franja norte de la provincia de Málaga. De especial interés son los travertinos de Priego (Córdoba), que representan una secuencia tardiglaciaria holocena (Díaz del Olmo *et al.*, 1992).

Tanto el Penibético, al oeste, como el Subbético Interno, prolongación paleogeográfica del anterior, presentan una gran riqueza y variedad de manifestaciones kársticas, sobre todo en el tercio occidental de la cordillera (Serranía de Ronda, entre las provincias de Málaga y Cádiz). El Penibético y el Subbético Interno están constituidos fundamentalmente por potentes series dolomítico-calizas jurásicas, seguidas de margas y margocalizas cretácicas de facies "capas rojas".

En el Penibético destacan la Serranía de Ronda y el macizo del Torcal de Antequera. En el primer caso, la Sierra del Endrinal presenta importantes manifestaciones geomorfológicas periglaciares junto con las formas kársticas, dando lugar a un modelado nivo-kárstico (Delannoy y Díaz del Olmo, 1986). En la Sierra de Líbar existe gran cantidad de formas tanto exokársticas como endokársticas, destacando entre estas últimas el Sistema Hundidero-Gato (Málaga) con 7.818 m de desarrollo (González Ríos, 1996). La surgencia de esta cavidad (boca de Gato), llega a evacuar caudales punta de 15.000 l/s, manteniendo caudales de base del orden de 150 l/s. Respecto a las formas exokársticas destaca el polje de Líbar, con tres niveles geomorfológicos y diversos valles colgados que ponen de manifiesto la dinámica paleokárstica del mismo (Díaz del Olmo y Delannoy, 1989). Cabe mencionar también los poljes de Benaolán y Pozuelo, la Cueva de la Pileta, la Sima de Republicanos y el cañón kárstico de las Angosturas del Guadiaro, como formas mayores. La Sierra de Líbar forma parte del parque natural de la Sierra de Grazalema, espacio natural que se encuentra, además, protegido por la figura de Reserva de la Biosfera.

El macizo del Torcal de Antequera presenta una morfología ruñiforme en calizas jurásicas plegadas. Resaltan los inmensos corredores kársticos y las depresiones cerradas, favorecidos por la disposición horizontal de los estratos y la intensa fracturación (Pezzi, 1975 y 1977). Este espacio natural posee la figura de protección de paraje natural. Destacan también, algo más al oeste, los desfiladeros de los Gaitanes y de Gaitanejos, cañones fluvio-kársticos de más de 300 m de altura, por los que discurre fuertemente encajado el río Guadalhorce; también están declarados Paraje Natural.

En el Subbético Interno existe un buen desarrollo de la karstificación en los macizos de Sierra Gorda y Sierra Arana, ambos en la provincia de Granada, y en otras sierras del norte de Almería. En Sierra Gorda son abundantes los campos de dolinas y los poljes, entre los

que destaca el polje de Zafarraya, la mayor depresión kárstica de la península ibérica con 28 km<sup>2</sup>, en cuyo fondo se reconoce una alineación de hums; el relleno de este polje ha sido estudiado por Martín Vivaldi *et al.* (1971), encontrándose una secuencia detrítica de más de 60 m de espesor.

### **El karst en la Zona Interna**

Dentro de las Zonas Internas se diferencian cuatro grandes complejos tectonopaleogeográficos: el Complejo Nevado-Filábride, el Complejo Alpujarride, la Dorsal Bética o Complejo Rondaide (Martín Algarra, 1987) y el Complejo Maláguide. De ellos, el Nevado-Filábride, que constituye la unidad tectónica más profunda, está compuesto casi exclusivamente por rocas metamórficas no carbonatadas.

El Complejo Alpujarride es la formación karstificable de mayor importancia, y está compuesto por calizas y dolomías (generalmente marmorizadas) del Trías Medio-Superior. Los fuertes relieves de las sierras que constituyen esta unidad, determinan el escaso desarrollo de las formas superficiales, a excepción de los lapiaces. Por el contrario, el endokarst se encuentra, frecuentemente, muy bien desarrollado, debido a la abundante fracturación y, en general, a la compleja estructura de las unidades. Así, hay que destacar la Cueva de Nerja (una de las más importantes del país desde el punto de vista turístico) y la Cueva de la Fájara, con 4.823 y 1.445 m de desarrollo, respectivamente, ambas en el macizo de Tejedá-Almijara, en la provincia de Málaga; la Cueva de Doña Trinidad o de Ardales, situada en la Serrezuela de Carratraca (Málaga), con 1.577 m de desarrollo; y la Cueva de las Campanas (Gualchos, Granada), con 1.056 m.

Constituido por un ribete de materiales post-paleozoicos, fundamentalmente carbonatados, que se sitúan de forma discontinua en el contacto entre la Zona Interna y la Externa, aflora ampliamente la Dorsal Bética en la Serranía de Ronda (Sierra de las Nieves, Málaga). Está formada por materiales carbonatados triásicos y jurásicos, fundamentalmente dolomías, entre las que se encuentran algunos niveles de margo-calizas. La disposición estructural de esta unidad es compleja, ya que supone una zona de contacto entre dos áreas con diferente estilo tectónico y estratigrafía de las unidades diferenciadas.

El macizo de la Sierra de las Nieves constituye uno de los mejores ejemplos españoles de karst mediterráneo en transición con la alta montaña, presentando formas nivales actuales muy cerca de la costa. Entre las formas exokársticas destacan las depresiones como el semipolje de la Nava, lapiaces y gran cantidad de ponors tanto activos como inactivos (Delannoy y Guendon, 1986). Dentro de este último grupo se encuentra la entrada a la sima G.E.S.M., que con 1.101 m de profundidad, constituye

una de las grandes cavidades verticales del planeta. El macizo de la Sierra de las Nieves forma parte del Parque Natural del mismo nombre, siendo igualmente Reserva de la Biosfera. Otros afloramientos karstificables importantes de la Dorsal Bética se localizan al sur de la Sierra Arana, en la provincia de Granada.

Por otro lado, existen abundantes macizos carbonatados pertenecientes al Complejo Alpujárride que no presentan rasgos notables de karstificación. Este es el caso de la Sierra de Gádor en Almería, y, en menor medida, las sierras Blanca y Mijas en Málaga, así como otras de menor entidad. En algunas ocasiones, es probable que el karst se encuentre en estado fósil. Los abundantes travertinos que aparecen al pie de la Sierra de Mijas (Durán *et al.*, 1988) aseguran una funcionalidad del mismo a lo largo del Pleistoceno Medio y Superior.

En el Complejo Maláguide también existen materiales karstificables, aunque de menor extensión. Tan sólo los pequeños afloramientos de la cobertera mesozoica (Jurásico y Eoceno) presentan materiales karstificables, calizas y dolomías, que afloran extensamente al Este de Málaga. Las formas kársticas más importantes en esta unidad son las cavidades que constituyen el Complejo de la Araña-Cuerda, con más de 4.000 m de desarrollo, y la Cueva del Tesoro con 1.513 m. Especialmente interesantes son los registros sedimentarios finopleistocenos de naturaleza marino-continental que albergan algunas de estas cavidades costeras.

## EL KARST EN YESOS

Una de las singularidades más notables del karst andaluz es el gran desarrollo que alcanzan las morfologías kársticas en materiales evaporíticos. Yeso, anhidrita y halita son las evaporitas más frecuentes, de edad triásica o miocena. En el primer caso, la ubicación de los sistemas kársticos está en relación con los afloramientos de Trías de facies germano-andaluza de la Zona Externa de la cordillera. En el segundo, con las formaciones finimiocenas de algunas depresiones intramontañosas, en particular las del sector centro-oriental del orógeno. Por tanto, además de los macizos carbonatados, en Andalucía existen también importantes formaciones que incluyen materiales yesíferos y salinos susceptibles de karstificación. Aunque estos materiales son más escasos que los carbonatados en la Cordillera Bética, no por ello son menos importantes, ya que en Andalucía, fundamentalmente en Almería y Málaga, se encuentran la mayoría de las cavidades kársticas españolas en yesos (el 80% de las cuevas de desarrollo superior a 500 m y de las simas de profundidad superior a 100 m) (Ayala *et al.*, 1986).

El Trías asociado al Subbético incluye materiales yesíferos aflorantes en extensas áreas que presentan buenas aptitudes para la karstificación, fundamentalmente en

las provincias de Córdoba y Málaga. Destacan dos afloramientos: el Trías de Antequera y el Trías de Cambil. Es en el primero en el que pueden observarse los fenómenos kársticos más interesantes.

El Trías presenta facies evaporíticas (yeso, anhidrita, halita) asociadas a arcillas, margas, areniscas, calizas y dolomías, además de rocas subvolcánicas. Respecto al funcionamiento hidrogeológico del Trías, los yesos desempeñan el papel de colectores de las aguas infiltradas, siendo así elementos permeables y transmisivos, aunque con poca capacidad. Esta se la proporcionan las litologías acompañantes, que ayudan a regular el drenaje de los sistemas kársticos (Durán y Molina, 1986). Las facies hidroquímicas de las aguas emergentes son sulfatadas cálcicas y cloruradas sódicas, es decir, de mala calidad química y, por tanto, de escaso interés en cuanto a su aprovechamiento.

Las principales manifestaciones kársticas son las dolinas y las redes subterráneas. En relación a las formas exokársticas existe una relativa dependencia estructural de su origen, observándose una cierta alineación de los campos de dolinas en algunos puntos, relacionada con directrices estructurales. Por otro lado, las redes subterráneas son, a veces, de gran envergadura, predominando las cavidades horizontales, aunque también son abundantes las simas de escaso desarrollo. Del mismo modo, la relación del endokarst con las directrices estructurales no refleja una tendencia clara. Hay que destacar el Karst de Gobantes (Antequera) en cuanto a cavidades conocidas, con un total de 78. En la provincia de Córdoba, es también importante la Cueva del Yeso (Baena), con 1.843 m de desarrollo.

Algunas depresiones intramontañosas situadas entre todas las unidades anteriormente descritas, están rellenas de materiales karstificables del Terciario, generalmente detríticos y evaporíticos. Destacan los materiales yesíferos finimiocenos que albergan sistemas kársticos de importancia mundial, como el karst de Sorbas (Almería) (Calaforra, 1996). Los materiales karstificables, de edad Messiniense, forman un conjunto yesífero de 130 m de potencia, donde alternan los estratos de yesos con niveles de calcilitas. El karst está fuertemente condicionado por la neotectónica, de forma que las cavidades siguen las directrices estructurales dominantes. Hidrogeológicamente, los yesos de sorbas constituyen un acuífero cuya base impermeable la forma una potente serie margo-detrítica. Las facies hidroquímicas son sulfatadas cálcicas, y producen una disolución del orden de los 260 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/año. La temperatura del agua en algunos puntos (19,8-22°C) indica la existencia de un cierto termalismo.

Entre las formas exokársticas aparecen lapiaces, dolinas, pequeños poljes y las formas superficiales más características, los "túmulos" (abombamientos de la capa

más superficial de los yesos) (Pulido-Bosch, 1986). Son frecuentes las formas endokársticas mayores, cuyo proceso de formación comienza, generalmente, por el desarrollo de un pozo vertical debido a la disolución del yeso. Cuando el agua alcanza un nivel arcilloso cesa el desarrollo vertical y comienza a producirse disolución horizontal a favor de la zona de contacto entre las arcillas y los yesos. Si la capa de arcilla consigue ser atravesada por el agua, comienza de nuevo el proceso de excavación vertical (Pulido-Bosch, 1986).

La cavidad más destacada es el sistema Cueva del Agua, que con 8.020 m de desarrollo conocido, es la más importante de España desarrollada en yesos. Otras cavidades con más de 1.000 m de desarrollo son: el sistema Covadura con 4.244 m, la Cueva del Tesoro con 1.890 m, la Cueva Fuente del Peral con 1.800 m, la Cueva de los Apas con 1.500 m, la Cueva de los Ruidos con 1.117 m, el Complejo G.E.P. con 1.080 m, la Cueva del Lapo (B-1) con 1.075 m, y la Cueva del Yeso con 1.050 m; y con más de 100 m de desnivel, la Sima del Corral con 130 m, el Sistema Covadura con 126 m, y la Sima del Campamento con 122 m (González Ríos, 1994). Los yesos de Sorbas constituyen un espacio natural protegido bajo la figura legal de paraje natural, cuyo valor fundamental lo constituye el espacio subterráneo desarrollado en evaporitas.

Existen otros materiales no carbonatados que también presentan indicios de karstificación, como son los materiales neógeno-cuaternarios detríticos, de naturaleza carbonatada en algunos de sus componentes (matriz, cemento o clastos). Este es el caso de los conglomerados del mioceno superior de Alora, las areniscas y conglomerados pliocenos de Nerja, y las brechas continentales pleistocenas de la vertiente norte de la Sierra de Mijas (Durán, 1996), todos ellos en la provincia de Málaga.

## EVOLUCIÓN DEL KARST

La evolución de los sistemas kársticos andaluces ha sido muy dilatada en el ámbito temporal. Desde el punto de vista paleokárstico, es decir de morfologías kársticas relictas, integradas en el registro geológico, Martín Algarra *et al.* (1989) han realizado una síntesis de los principales episodios paleokársticos de la Cordillera Bética. Nueve fases repartidas a lo largo del Mesozoico y el Cenozoico han sido detectadas. No obstante el panorama kárstico actual arranca con la configuración de los rasgos mayores de la arquitectura de la cordillera, es decir a finales del Mioceno. Un testimonio de esto es el paleorrelieve tortoniense labrado en las calizas penibéticas de El Chorro (Málaga), enterrado por los conglomerados de dicha edad. Durante el Plioceno se produjeron, con total seguridad, una o varias fases karstogenéticas mayores. Evidencias de estas fases pueden observarse en algunos relieves alpujárrides costeros (Sierra de Mijas,

región de Nerja), en los conglomerados calcáreos de la Bahía de Cádiz (Dabrio, Zazo y Goy, 1987), y en las numerosas paleocavidades con yacimientos de micromamíferos de los bordes de las cuencas intramontañosas neógenas granadinas. También en el registro morfológico exokárstico han sido reconocidas evidencias de fases karstogenéticas finineógenas o plioleptocenas en los relieves de Sierra Morena (Rodríguez Vidal y Díaz del Olmo, 1989). Desde el punto de vista de los depósitos, también existe constancia de la actividad kárstica pliocena. Los travertinos de Puerto Martínez, en Sierra Prieta (Málaga) son un buen testimonio de ello. Esta fase de karstificación pliocena ha sido detectada igualmente en otras regiones del Mediterráneo occidental, como por ejemplo la isla de Mallorca (Ginés y Ginés, 1995).

Durante el Pleistoceno la actividad karstogenética fue alternante, condicionada fuertemente por las oscilaciones climáticas características del Cuaternario. Durante los periodos fríos se reactivaron hidrológicamente los conductos endokársticos, mientras que los periodos cálidos fueron especialmente proclives para la travertinizacón y la génesis de importantes volúmenes de espeleotemas. Se han detectado al menos tres fases importantes de erosión endokárstica durante el Cuaternario, correspondiente al Pleistoceno Inferior, Medio y Superior. Igualmente, mediante la aplicación de técnicas geocronológicas absolutas se han distinguido nueve fases de carbonatogénesis desde el inicio del Pleistoceno Medio hasta el Holoceno (Durán, 1996), coincidentes mayoritariamente con los estadios isotópicos de carácter cálido (11, 9, 7, 5, 3 y 1). También en el exokarst existen evidencias morfológicas de edad pleistocena que confirman la existencia de fases alternantes de actividad kárstica (poljes de la Sierra de Líbar, por ejemplo).

## REFERENCIAS

- AYALA, F.J.; RODRÍGUEZ ORTIZ, J.M.; DEL VAL, J.; DURÁN, J.J.; PRIETO, C. y RUBIO, J. (1986): *Memoria del Mapa del Karst de España*. Instituto Geológico y Minero de España. 68 p.
- BENAVENTE, J.; PULIDO-BOSCH, A. y FERNÁNDEZ RUBIO, 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. Univ. de Granada.
- DABRIO, C., ZAZO, C. Y GOY, J. (1987): Pleistocene sea-level changes in the Bay of Cádiz (SW Spain). En: C. ZAZO (Ed.), Late Quaternary sea-level changes in Spain. *Trabajos sobre Neógeno-Cuaternario*, 10, 265-282.
- DELANNOY, J.J. y DÍAZ DEL OLMO, F. (1986): La Serranía de Grazalema (Málaga-Cádiz). *Karstologia Mémoires*, 1, 55-70.
- DELANNOY, J.J. y 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. y DELANNOY, J.J. (1989): El karst en las Cordilleras Béticas: Subbético y Zonas Internas. En DURÁN VALSE-