



Contextualización Geológica de Andalucía:  
una aproximación a la Geodiversidad Andaluza



# Contextualización geológica de Andalucía: una aproximación a la geodiversidad andaluza

# Índice

1. <u>Introducción</u>	3
2. <u>Historia geológica de Andalucía</u>	5
2.1. Evolución de Andalucía durante el Proterozoico. El Ciclo Cadomiense	5
2.2. Evolución de Andalucía durante el Paleozoico. El Ciclo Varisco	6
2.3. Evolución de Andalucía durante el Mesozoico y Cenozoico. El Ciclo Alpino	12
3. <u>Unidades Geológicas de Andalucía</u>	23
3.1. El Macizo Ibérico	24
3.2. La Cordillera Bética	28
3.3. Depresiones Neógenas	32
4. <u>Las distintas diversidades geológicas de Andalucía</u>	35
4.1. Diversidad tectónica y estructural	35
4.2. Diversidad sedimentológica y estructural	37
4.3. Diversidad petrológica y mineralógica	38
4.4. Diversidad paleontológica y geoarqueológica	39
4.5. Diversidad geominera y arqueoindustrial	42
4.6. Diversidad hidrológica e hidrogeológica	43
4.7. Diversidad Geomorfológica y paisajística	45
4.8. Diversidad edáfica	50

## 1. INTRODUCCIÓN

La riqueza y diversidad del Patrimonio Geológico andaluz han despertado un notable interés por la región desde finales del siglo XVIII, periodo en el que comienza a formalizarse en España el estudio de las Ciencias de la Tierra.

Este interés radica en gran medida en:

- El amplio abanico de periodos y rocas que comprende, que abarca desde el Precámbrico hasta la actualidad, una historia geológica de casi 600 millones de años.
- La gran variedad de ámbitos geológicos representados en Andalucía, tres grandes dominios geológicos, cada uno de los cuales presenta marcados aspectos y rasgos geológicos propios que los diferencian del resto.
- La función de la Comunidad Autónoma como auténtico laboratorio geológico que permite el reconocimiento de una gran variedad de procesos, en muchos casos excepcionales en el contexto nacional e internacional. Procesos geomorfológicos, hidrológicos, tectónicos, mineralógicos, ambientes sedimentarios, etc., que dan como resultado un nutrido testimonio en forma de rocas, minerales, morfologías singulares, fósiles y otros elementos de interés.
- La importancia de estos procesos, relacionados con el medio físico, como sustento y soporte de los ecosistemas y paisajes andaluces, tanto en la actualidad como en el pasado, y por supuesto en el futuro.

Indiscutiblemente, el Patrimonio Geológico y la Geodiversidad forman parte imprescindible del Patrimonio Natural andaluz, pero además presentan dos implicaciones especialmente significativas:

- Los procesos físicos y geológicos son determinantes en buena parte de las relaciones e interacciones del ecosistema, hecho que confiere una gran importancia al análisis y diagnóstico de su evolución y tendencia. Los testimonios de estos procesos en el pasado son hoy registros geológicos. Su evaluación en el presente requiere planteamientos relacionados con el estudio del medio físico, su dinámica y funcionamiento. Hechos geológicos o relacionados con el medio abiótico, han sido hace miles y millones de años capaces de transformar radicalmente los hábitats de la Tierra y su fisonomía, alterando incluso la evolución de las formas de vida que en ella habitaban. La interpretación de estos procesos facilita la comprensión, en su conjunto, del medio natural que nos rodea, llegando incluso a facilitar la predicción y anticipación de acontecimientos futuros, con todo lo que esto puede suponer a la hora de diseñar medidas encaminadas a la correcta gestión del medio.
- Al valor intrínseco de los registros geológicos, se añade además su indudable dimensión cultural. El Patrimonio Geológico forma también parte de la historia del Hombre, de su evolución y relación con el medio natural, la cual se ha establecido tradicionalmente a través del proceso histórico de adaptación y aprovechamiento de los recursos de la Tierra. En este sentido, el Patrimonio Geológico forma parte, tanto del Patrimonio Natural, como del Patrimonio Cultural de la Humanidad.

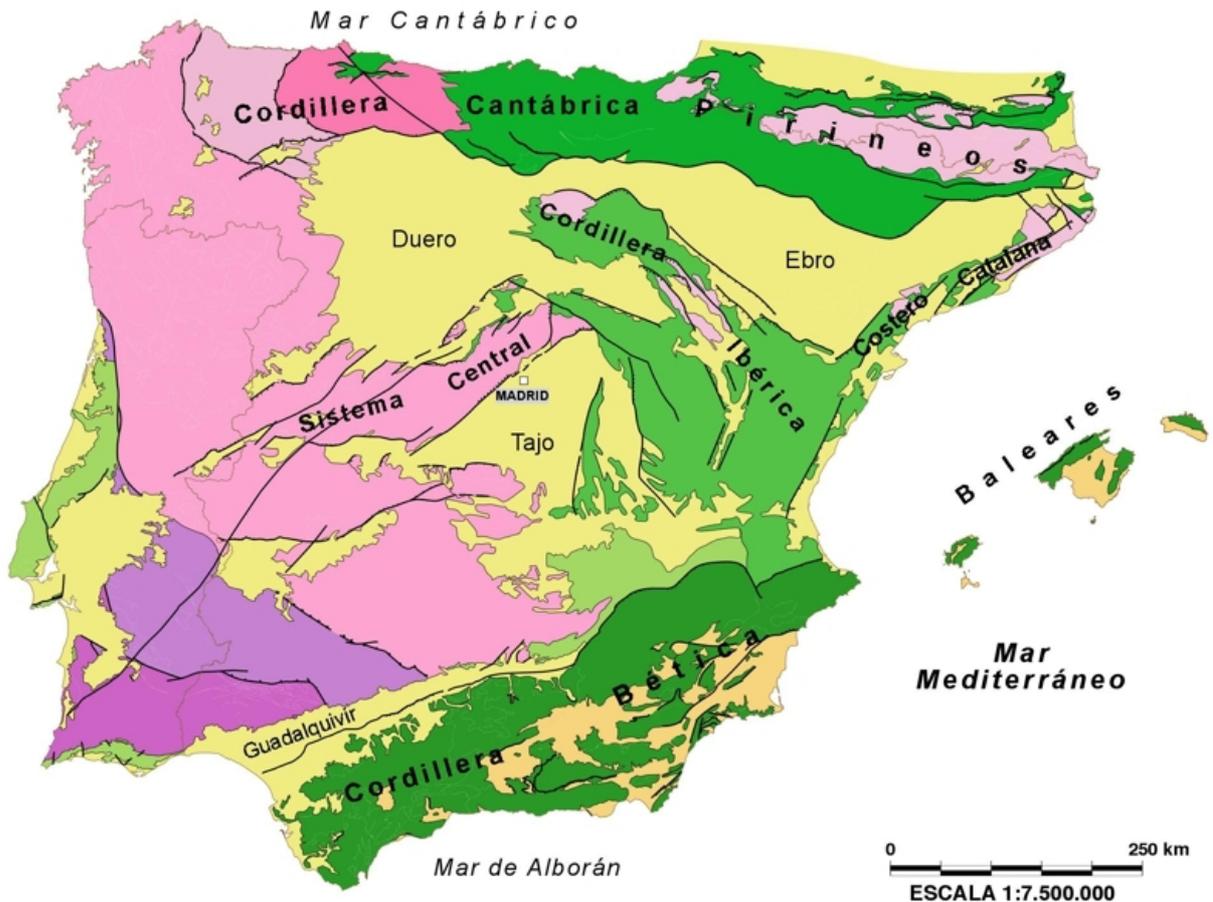
Una larga historia geológica y una posición de encrucijada entre dos mares, dos continentes y dos dominios climáticos, dan una gran diversidad al medio físico andaluz. Litología, pendientes, relieves, etc., determinan la capacidad agrológica de unos suelos que se dirigen hacia dos grandes vocaciones: las sierras forestales y ganaderas y las campiñas y vegas agrícolas.

La Península Ibérica es la más suroccidental de las tres penínsulas europeas que se asoman al Mediterráneo, señalando el límite entre este mar y el Océano Atlántico, y estableciendo una corta separación entre los continentes europeo y africano, a través del Estrecho de Gibraltar.

Las orillas meridionales de la Península, donde se enclava Andalucía, fueron conocidas desde antiguo como las Columnas de Hércules, más allá de las cuales se encontraba el Mare Tenebrosum, opuesto al Mare Nostrum o Mediterráneo, marcando así el carácter de frontera de estas tierras, un carácter de frontera que aún pervive bajo nuevos perfiles en la actualidad.

La Península Ibérica puede ser considerada un continente en miniatura desde el punto de vista geológico por su amplia diversidad geológica, tectónica y litológica. Esta diversidad, reproducida a escala en Andalucía, es resultado de dos factores fundamentales:

- Un largo proceso de formación del relieve, que abarca desde finales del Proterozoico.
- Su situación de encrucijada entre dos continentes y dos mares muy diferentes, y su posición de frontera entre dos dominios climáticos: el templado y el subtropical.



**MACIZO IBÉRICO**

-  Zona Cantábrica
-  Zona Asturoccidental-Leonesa
-  Zona Centroibérica
-  Zona de Ossa Morena
-  Zona Surportuguesa

**C A D E N A S**

- CORDILLERA PIRENAICA**
-  Cobertera Meso-Cenozoica
  -  Basamento de la Zona Axial
  -  Zona Cantábrica
  -  Zona Asturoccidental-Leonesa

**A L P I N A S**

- CORDILLERA IBÉRICA y COSTERO-CATALANA**
-  Cobertera Meso-Cenozoica
  -  Basamento Varisco
- CORDILLERA BÉTICA y BALEARES**
-  Cordillera Bética (s.l.)
  -  Cuencas Cenozoicas

-  Cuencas Cenozoicas
-  Cobertera Mesozoica poco o nada deformada

Mapa de Unidades Geológicas de La Península Ibérica, Portugal y Baleares. Vera et al. (2004)

## 2. HISTORIA GEOLÓGICA DE ANDALUCÍA

La actual Andalucía no es una placa homogénea, se parece más bien a un "collage" hecho con trozos de litosfera traídos de distintos lugares. Hace por ejemplo 600 millones de años había lugares que sencillamente no existían, porque se formaron más tarde como prismas de acreción sedimentaria primero y de acreción tectónica después.

También hay zonas que durante cientos de millones de años podían haberse dado por perdidas, como la provincia de Huelva, y que acabaron volviendo a unirse a su suelo natal. O los fragmentos que nunca pertenecieron a nuestro entorno próximo, como la zona sureste de Andalucía, y que hace pocos millones de años vinieron a incrustarse contra nuestra litosfera y se quedaron formando parte de ella.

En definitiva, Andalucía es el resultado de un sinfín de casualidades, de colisiones fortuitas, de roturas, separaciones y reencuentros.

La construcción de la morfología actual de Andalucía y de sus rasgos geográficos es fruto pues, de un conjunto de cambios paleogeográficos acaecidos a partir del Precámbrico hasta nuestros días. Como en cualquier reconstrucción paleogeográfica hay una parte interpretativa, discutible, la cual aumenta a medida que la estructura es más compleja y la edad más antigua.

### 2.1. Evolución de Andalucía durante el Proterozoico. El Ciclo Cadomiense

Los únicos materiales claramente anteriores al Paleozoico (más de 570 Ma) que afloran en Andalucía son los de los núcleos antiformes de la Zona de Ossa-Morena, y su edad es Proterozoico superior.

*Proterozoico superior - 600 ma. Fuente: Ron Blakey*

Su sedimentación tuvo lugar en un medio marino inestable con substrato de corteza continental (el margen continental de Gondwana), donde se acumulaban sedimentos turbidíticos y formaciones olistostrómicas sincrónicas con una importante actividad magmática (plutónica y volcánica) de carácter calcoalcalino. El tipo de sedimentos y la actividad magmática indican que el Macizo Ibérico formó parte del margen continental de Gondwana y que la actividad ígnea calcoalcalina estuvo relacionada con un margen activo situado sobre una zona de subducción cadomiense. Estos materiales se plegaron antes del inicio del Cámbrico durante la Orogenia Cadomiense y simultáneamente se produjo el metamorfismo de los materiales e intrusiones de granitoides.

La intensidad y la duración de la Orogenia Cadomiense en el sudoeste de Iberia han sido temas controvertidos. El magmatismo calcoalcalino del Vendiense superior, que se encuentra ampliamente representado en la Zona de Ossa Morena, es el efecto orogénico cadomiense más significativo. Sin embargo, la deformación penetrativa de las rocas precámbricas parece corresponder casi exclusivamente a pliegues y cabalgamientos de edad varisca. En conjunto, la intensidad de la orogenia cadomiense en el sudoeste de Iberia es, como en el resto del Macizo Ibérico, moderada. Del análisis de los datos estratigráficos se deduce que la orogenia cadomiense se habría desarrollado exclusivamente en el Proterozoico terminal, siendo el Cámbrico inferior un período de transición entre el ciclo orogénico cadomiense y el ciclo varisco.

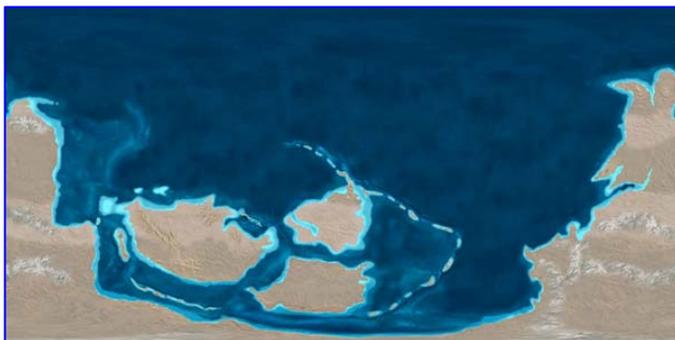
*Proterozoico superior - 600 ma. Fuente: Ron Blakey*

## 2.2. Evolución de Andalucía durante el Paleozoico. El Ciclo Varisco

La Zona Centroibérica estaba situada en el borde del continente de Gondwana. La Zona Ossa Morena podría haber constituido el microcontinente de Armórica, más o menos próximo a Gondwana. La Zona Subportuguesa seguramente formó parte de otro microcontinente, Avalonia, separado de Gondwana.

**CÁMBRICO (542-488 Ma).** A partir del Cámbrico en la parte del Macizo Ibérico incluida en Andalucía, y presumiblemente en su continuación hacia el sur, se extendía un extenso mar donde se depositaron sedimentos marinos de plataforma somera, con diferencias notables de potencias y lagunas estratigráficas locales que indican juegos de bloques que se levantaban y se hundían.

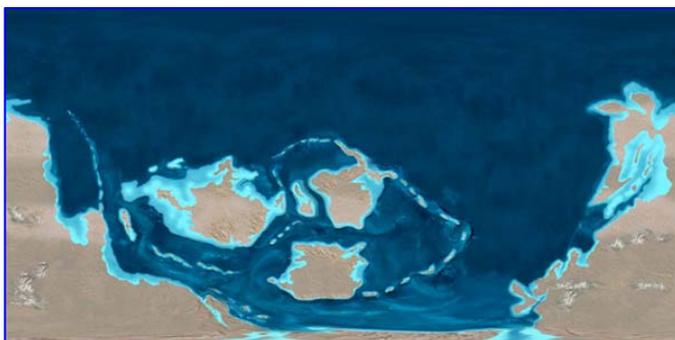
El **Cámbrico inferior** marca el inicio de un periodo con tectónica distensiva (rifting continental) tras la Orogenia Cadomiense. Se desarrollan medios de transición o marinos someros en los que se depositan grandes espesores de sedimentos siliciclásticos (conglomerados, arenas y arcillas), arrastrados por los ríos que erosionaban el relieve, que pasaron gradualmente a depósitos carbonatados de plataforma, origen de rocas calizas, generadas por el depósito de caparzones y esqueletos de organismos marinos; y todo esto acompañado, en zonas y épocas concretas, por un importante magmatismo.



*Cámbrico inferior - 540 ma. Fuente: Ron Blakey*

La plataforma continental de la que Iberia formaba parte era extensa, se adentraba en el Océano varios cientos de kilómetros y presentaba una suave pendiente hacia el mar abierto.

El clima cálido, quizá incluso sofocante, de principios y mediados del Cámbrico propició un importante cambio químico en las aguas oceánicas: se hizo más fácil la precipitación de carbonato y fosfato cálcico. La facilidad para la producción de sales cálcicas facilitó el desarrollo de seres vivos con esqueletos mineralizados, cosa que hasta entonces no había existido en este planeta.



*Cámbrico superior - 500 ma. Fuente: Ron Blakey*

Estos cambios en la biosfera tuvieron lugar en muy poco tiempo; fue un despliegue de creatividad armamentística sin precedentes y que no ha vuelto a repetirse. Nada menos que se inventaron casi simultáneamente las patas articuladas, los caparzones, las mandíbulas y los dientes.

Además las partes blandas de los seres vivos experimentaron un desarrollo muy rápido a partir del plan arquitectónico de un anélido muy simple: para fabricar un artrópodo acorazado, como lo eran los trilobites o lo son los cangrejos actuales, hay que equipar su blindaje con un aparato digestivo, un sistema nervioso, un aparato locomotor y un aparato respiratorio adecuados. Todas estas innovaciones aparecen en el registro fósil en un intervalo de tiempo tan breve que parece un suceso instantáneo, a pesar de que debió de abarcar, según cálculos recientes, un período de unos cinco millones de años.

Nuestra plataforma continental atravesó también momentos en los que predominaba la sedimentación de carbonatos, lo que en geología se llama una *plataforma carbonatada*, en la que florecía la vida y en la que los arrecifes de arqueociátidos (animales con un esqueleto calcáreo, similares a las esponjas y que vivieron únicamente durante el Cámbrico inferior, extinguiéndose sin dejar descendencia conocida), junto con esqueletos de trilobites, crustáceos, braquiópodos, moluscos y equinodermos, iban quedando sepultados en un lodo calcáreo que hoy encontramos formando calizas.

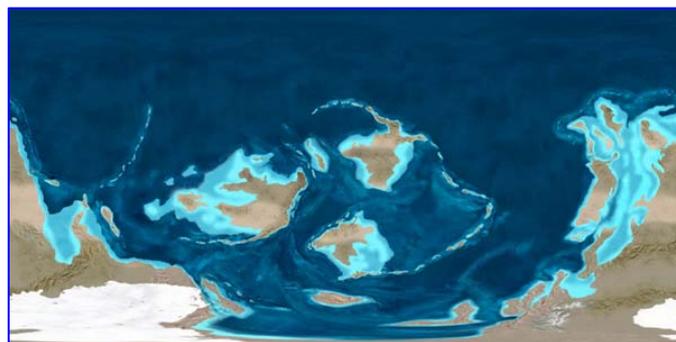
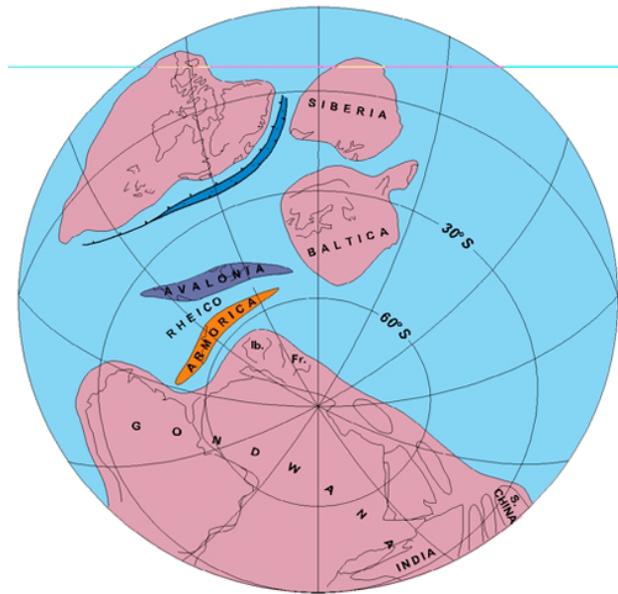
**ORDOVÍCICO (488-43 Ma).** Durante el Ordovícico se diferenciaron en esta cuenca marina dos dominios: uno que comprendía la Zona Centro-Ibérica (al este del Batolito de los Pedroches), donde se depositaban materiales siliciclásticos de plataforma, la "Cuarcita armoricana", y otra zona (el resto) con facies de lutitas marinas. Además en el Ordovícico inferior se generan también rocas magmáticas y metamorfismo, en relación con un evento extensional.

Al principio del Ordovícico, el clima cálido había fundido los casquetes glaciares, lo que originó subidas del nivel del mar que propiciaron la instalación de grandes plataformas continentales. En estas plataformas cálidas, iluminadas y no muy profundas tuvo lugar una rápida diversificación de los diseños morfológicos aparecidos en el Cámbrico:

- Los moluscos que habían comenzado una tímida diferenciación en el Cámbrico, desarrollan una gran variedad: bivalvos, gasterópodos y cefalópodos experimentan una espectacular radiación evolutiva.
- Los artrópodos, sobre todo los trilobites, que también habían experimentado un cierto desarrollo en el Cámbrico, adquieren diseños mucho más sofisticados.
- Graptolitos, corales, braquiópodos y equinodermos experimentan una rápida diversificación. Los graptolitos, excelentes fósiles guía, eran hemicordados coloniales que prosperaron en estas extensas plataformas y que se encuentran en la base evolutiva de los vertebrados.
- Aparecen los agnatos, los primeros vertebrados, animales nadadores sin mandíbulas. Los agnatos ordovícicos, los ostracodermos tenían el cuerpo cubierto de escamas óseas. Los conodontos, fósiles muy frecuentes en las rocas paleozoicas, son unas pequeñas piezas de fosfato cálcico que formaban parte de un aparato atrapador de alimentos situado en la región cefálica de los vertebrados primitivos.

Nuestras plataformas ordovícicas estaban rebosantes de vida, la abundancia de graptolites y ostracodermos demuestran que las cadenas tróficas estaban funcionando, sin embargo sorprende que apenas se depositaran carbonatos. La razón puede estar en la deriva del continente de Gondwana hacia el polo Sur, en cuyas frías aguas es difícil el depósito de carbonatos. A finales del Ordovícico, Gondwana, posicionada ya sobre el polo Sur, desarrolló un extenso casquete de hielo, ocasionando una glaciación generalizada que dio lugar a una extinción masiva de organismos adaptados a las plataformas que habían prosperado durante millones de años.

**ORDOVÍCICO MEDIO  
465 Ma**



*Ordovícico medio - 470 ma. Fuente: Ron Blakey*

**SILÚRICO (443-416 Ma).** Al inicio del Silúrico tuvo lugar una transgresión generalizada depositándose los materiales silúricos sobre términos de diferente edad. Durante el Silúrico se mantiene una distribución paleogeográfica análoga a la de épocas anteriores con sectores con depósito de lutitas (pizarras) y otros de arena (cuarcitas), siempre en medio marino.

La glaciación que marca el paso del Ordovícico al Silúrico duró unos 20 millones de años y una vez finalizada el clima volvió a su antigua calidez.

Gondwana continuó su lenta deriva, esta vez en dirección al ecuador. Las especies de aguas frías se expandieron por las plataformas continentales ocupando los nichos ecológicos que habían quedado vacantes y la biosfera recuperó en poco tiempo su anterior biodiversidad, sobre todo en las plataformas cabornatadas que se desarrollaron en el Silúrico y Devónico. Nuestra plataforma se encontraba a unos 30° de latitud, sin embargo, en ella se depositaron abundantes sedimentos terrígenos y escasos carbonatos, lo que probablemente sea debido a la topografía del fondo, con zonas profundas alternando con otras más someras que dificultaron las circulación de corrientes marinas y propiciaron una carencia de oxígeno generalizada en los fondos, lo que se tradujo en la ausencia casi total de organismos bentónicos.

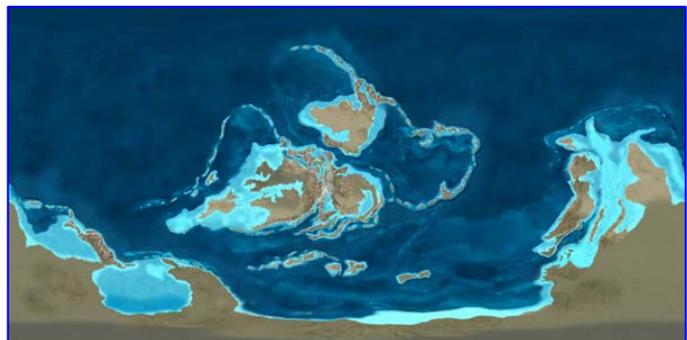
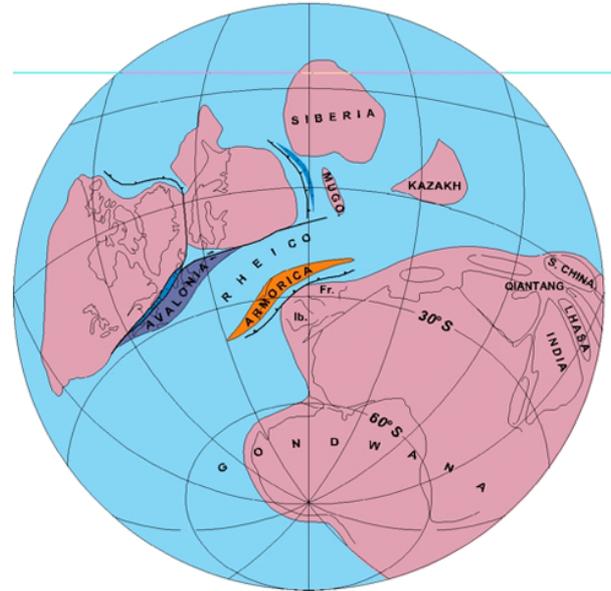
Mientras Gondwana se fracturaba y la plataforma Ibérica atravesaba esa crisis anóxica, en el hemisferio norte estaban teniendo lugar otro tipo de acontecimientos: la Placa de Avalonia (donde viajaban terrenos de Huelva y Sevilla), en su deriva hacia el norte, había acabado por colisionar con la Placa Báltica cerrando el Océano de Tornquist. Avalonia y Báltica quedaron unidas, y juntas fueron al encuentro de Laurentia, cerrando el Océano de Japeto, cuya litosfera oceánica iba subduciendo a medida que las dos masas continentales se aproximaban y se iba levantando el orógeno caledoniano.

El Océano Reico estaba en su punto de máxima extensión: en su costa noroeste se ubicaba un continente nuevo, Laurussia, formado por la acreción de Laurentia, Báltica, Avalonia y otras pequeñas placas; y en su costa sureste el macrocontinente de Gondwana, inmerso en una tectónica distensiva. La situación de rifting descrita para Gondwana durante el Silúrico no tardaría en hacerse evidente: un nuevo fragmento, la Placa de Armórica acabó por desgajarse y quedar a la deriva en el Océano Reico. Esto marcó el futuro de la Placa Ibérica, pero esta historia pertenece ya al Devónico.

La biosfera había dado un paso más en su extensión por el planeta: había colonizado las aguas continentales.

Incluso el hábitat subaéreo había empezado a ser invadido por los vegetales ya desde el Ordovícico y ahora, en el Silúrico terminal, había ya insectos y arácnidos terrestres. En los lagos y ríos del nuevo continente de Laurussia vivían gusanos, artrópodos, moluscos y unos peces descendientes de los "agnatos acorazados" que habían proliferado en el Ordovícico. Estos eran peces con mandíbulas, (gnatóstomos) y tenían también la parte anterior del cuerpo recubierta de placas; son los auténticos peces acorazados, que poblaron las aguas continentales de Laurussia.

SILURICO MEDIO  
425 Ma



Silúrico - 430 ma. Fuente: Ron Blakey

**DEVÓNICO (416-360 Ma).** Durante el **Devónico inferior**, al igual que en Silúrico, se mantiene una distribución paleogeográfica análoga a la de épocas anteriores con sectores con depósito de lutitas (pizarras) y otros de arena (cuarcitas), siempre en medio marino.

*Devónico inferior - 400 ma. Fuente: Ron Blakey*



Al inicio del **Devónico superior** (416-359 Ma) ocurrió otra transgresión disponiéndose los materiales de esta edad sobre los del Devónico inferior, con una laguna estratigráfica que comprende el Devónico medio.

*Devónico superior - 370 ma. Fuente: Ron Blakey*



Los materiales del **Devónico superior y Carbonífero inferior** son marinos con intercalaciones de rocas volcánicas a veces muy importantes (complejo vulcanosedimentario de la Zona Surportuguesa).

La placa de Armórica independizada de Gondwana comenzó a derivar hacia el NO, cerrando el océano Reico y dejando entre esta placa y Gondwana un nuevo océano que no llegó a ser muy extenso, ya que Gondwana también derivaba en la misma dirección, cerrando a su vez este nuevo océano. Las plataformas marinas de estos continentes fueron zonas de alta diversidad y estaban repletas de vida, con gran desarrollo de arrecifes coralinos.

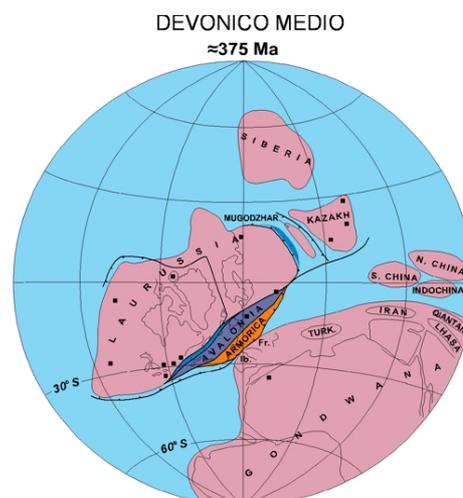
En grandes zonas predominan en esta época el depósito de carbonatos, sin embargo en Andalucía afloran principalmente pizarras, cuarcitas producto de la erosión de los relieves formados en la Orogenia Caledoniana, y hacia el Devónico superior, los procesos tectónicos (rifting y subducción), producen un intenso vulcanismo submarino que acompañaba a la deriva de las placas en esta zona y que son el origen de la formación de la Faja Pirítica de Huelva.

Durante el Devónico las plantas ya habían colonizado los continentes y a finales de este periodo las zonas emergidas estaban cubiertas de bosques. Su proliferación dio lugar a un aumento significativo del CO<sub>2</sub> atmosférico. Un ejército de invertebrados (insectos, arácnidos, moluscos...) y de organismos descomponedores y simbióticos (hongos y líquenes), habían preparado la tierra firme para el desarrollo de esta seres más complejos.

La vida dio hace unos 375 millones de años un gran paso. Los vertebrados salieron del agua y empezaron a caminar sobre tierra firme, un dominio hasta entonces reservado a plantas e invertebrados. También aparecen en esta época los peces de agua dulce.

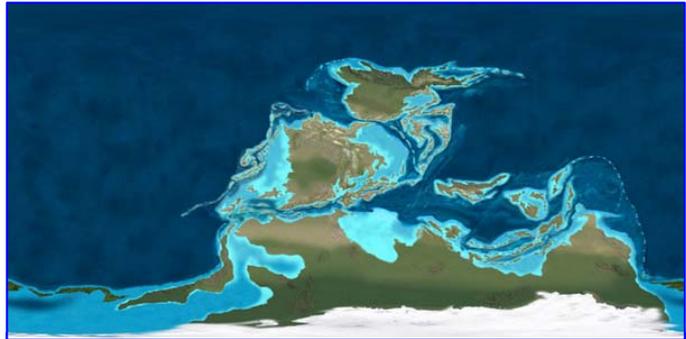
A finales del Devónico comenzó otro descenso general de las temperaturas, en parte ocasionado por la situación de Gondwana, que en su deriva volvió a situarse de nuevo sobre el Polo Sur, lo que permitió la formación de un nuevo casquete glaciario que fue expandiéndose hacia latitudes más bajas.

El Devónico tiene un final realmente inquieto: el cierre del Océano Reico está a la vista; la glaciación avanza desde el Polo Sur hacia el ecuador; el vulcanismo sacude los márgenes de Armórica y de Laurussia, impregnando de sulfuros Huelva y Ciudad Real; y un penacho térmico especialmente pertinaz, caliente y extenso, está situado precisamente bajo el lugar en el que va a ocurrir la colisión entre los dos supercontinentes de Gondwana y Laurussia.



**CARBONÍFERO (360-299 Ma).** Durante el **Carbonífero inferior** las condiciones son iguales a las del Devónico superior. La Placa Armoricana, en la que se encuentra gran parte de nuestro territorio, está próxima a colisionar contra Laurussia, a la que se acerca desde el sureste, seguida de cerca por Gondwana.

*Carbonífero inferior - 340 ma. Fuente: Ron Blakey*



Los depósitos de volúmenes importantes de turbiditas (facies Culm), precursores de la Orogenia Varisca, son más antiguos en la Zona de Ossa Morena donde se iniciaron en el Carbonífero inferior y más tardíos en la Zona Surportuguesa en la que se iniciaron a lo largo del **Carbonífero superior**.

*Carbonífero superior - 300 ma. Fuente: Ron Blakey*



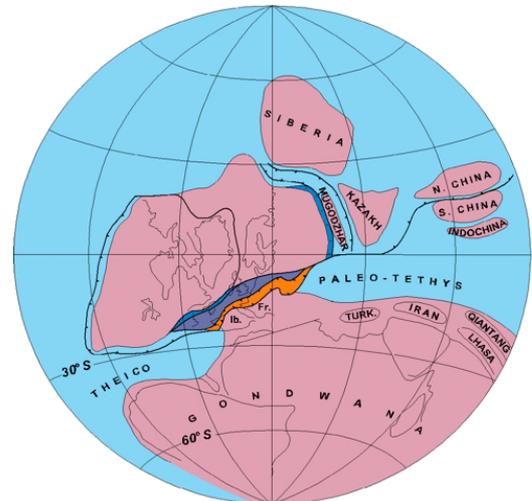
La Orogenia Varisca, con varias fases, somete todos estos sedimentos a fuertes transformaciones (metamorfismo) y deformaciones (pliegues y fracturas). Las rocas resultantes fueron atravesadas por magmas, ricos en elementos metálicos, que al intruir, generaron importantes mineralizaciones. La fase principal de la Orogenia conllevó la emersión generalizada del dominio varisco, que perdura hasta la actualidad. Esta fase de deformación principal, estuvo precedida por, al menos, otras dos. Simultáneamente a la fase principal ocurrieron importantes intrusiones de granitos, como el del batolito de los Pedroches.

Durante el **Carbonífero superior** (y en las distintas fases del orógeno) la Zona de Ossa-Morena se encontraba hacia el ecuador y en ella se desarrollaron extensas zonas donde se depositaron facies parálicas con niveles de carbón: la antigua cuenca marina se ha colmatado de sedimentos y ha generado extensos medios pantanosos, donde se acumularon grandes cantidades de restos vegetales, que formarán una de las mayores concentraciones de carbón actual. Mientras tanto en la Zona Surportuguesa se depositan facies marinas más profundas.

Al **final del Carbonífero** encontramos casi todos los continentes unidos en uno solo, Pangea, rodeado de un extenso océano, Panthalasa y el clima sobre los continentes comienza a hacerse cada vez más continental. El depósito de esta época es siempre continental y se limitó a aquellas regiones subsidentes hundidas dentro del nuevo continente y alimentadas por los productos de erosión de los relieves adyacentes.

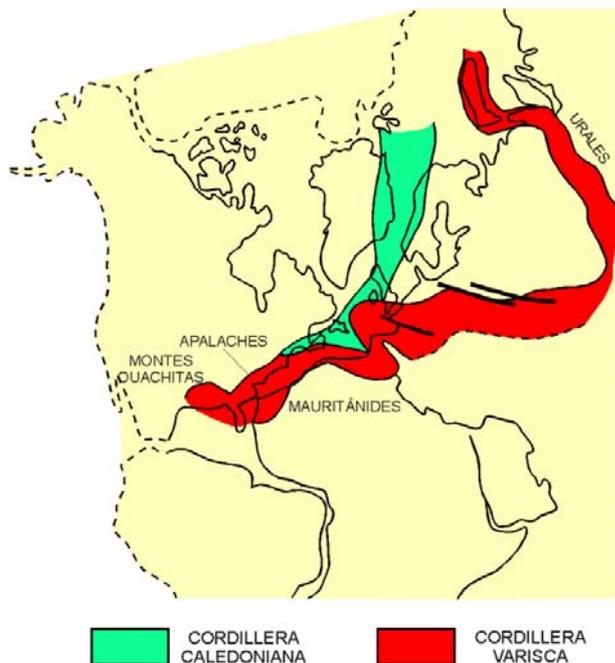
El Carbonífero fue una época en la que destacó la rápida evolución de la vida sobre los continentes. Extensos bosques de helechos con porte arbóreo donde proliferaban insectos, arácnidos y miriápodos. Libélulas de 70 cm. de envergadura, arañas del tamaño de un gato y miriápodos de 50 cm., son algunos de los fósiles más espectaculares que nos han dejado estos bosques carboníferos. Los anfibios habían alcanzado una gran diversidad y ocupaban los vértices de las cadenas tróficas en los ecosistemas continentales. Las aguas dulces estaban pobladas por numerosos invertebrados: moluscos, gusanos, artrópodos, así como por peces y anfibios. En este ambiente tienen lugar dos hechos importantes: la adquisición del vuelo por parte de los insectos (las cucarachas aparecen en esta época) y la aparición de los reptiles a partir de los anfibios.

CARBONIFERO INFERIOR  
≈340 Ma



**PÉRMICO (299-251 Ma).** El inicio de este período, está marcado por los últimos estertores de la Orogenia Varisca. Después de dispersarse durante el Paleozoico, las masas continentales vuelven a reunirse en el Pérmico formando el macrocontinente de Pangea.

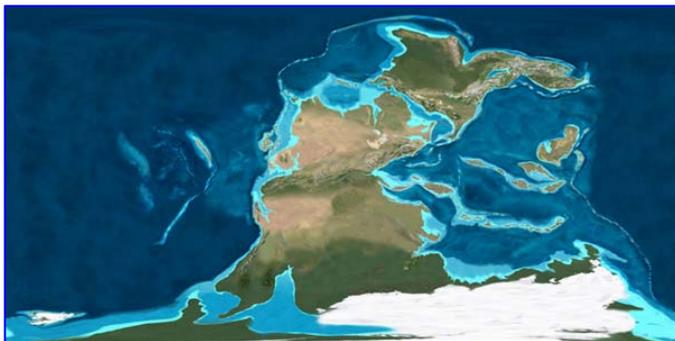
La continentalización del clima, debida a la formación de Pangea, dio lugar durante el Pérmico a una desertización generalizada que acabó con los extensos bosques carboníferos. También afectó mucho a los anfibios, que habían encontrado unos ecosistemas óptimos en aquellos bosques húmedos. Su posición fue ocupada rápidamente por los reptiles, mucho mejor adaptados a este nuevo medio.



Los depósitos del Pérmico son continentales, se limitó a aquellas regiones subsidentes hundidas dentro del nuevo continente y alimentadas por los productos de erosión de los relieves adyacentes. Los ríos que erosionan las montañas variscas acumulan sedimentos detríticos en las pequeñas cuencas sedimentarias que se formaron entre los relieves, el Macizo Ibérico formado en la Orogenia Varisca está sufriendo una intensa erosión. Las areniscas y conglomerados que hoy encontramos como testigos de esta denudación del relieve durante el Pérmico, se conocen mundialmente con el nombre de Areniscas Rojas Modernas (New Red Sandstones). En Andalucía estas “Areniscas Rojas Modernas” se formaron también durante el principio del Triásico, y en muchas localidades resulta imposible saber dónde se sitúa el límite entre ambos períodos, dentro de esta homogénea serie de areniscas y conglomerados, por lo que se atribuye a esta Formación Geológica una edad “Permotriásica”.

*Trazado de las cordilleras Caledoniana y Varisca en Europa y América. Tomada de Julivert, M. y Martínez, J. F. (1983): Estructura de conjunto y visión global de la Cordillera Herciniana. En: Geología de España. Libro Jubilar J.M. Ríos (J.A. Comba, Coord.), IGME, Madrid, 1: 612-630. Redibujada por F. Bastida.*

A esta desertización generalizada se sumó una bajada del nivel del mar de unos 250 m, quedando extensas zonas cubiertas por una lámina de agua poco profunda, con formación de evaporitas, muy frecuentes también en el Triásico. En el Pérmico superior, un nuevo proceso de rifting que se inicia a la vez en varios lugares, comienza a dividir Pangea, disgregándola y abriendo fisuras donde se localizarán nuevos océanos.

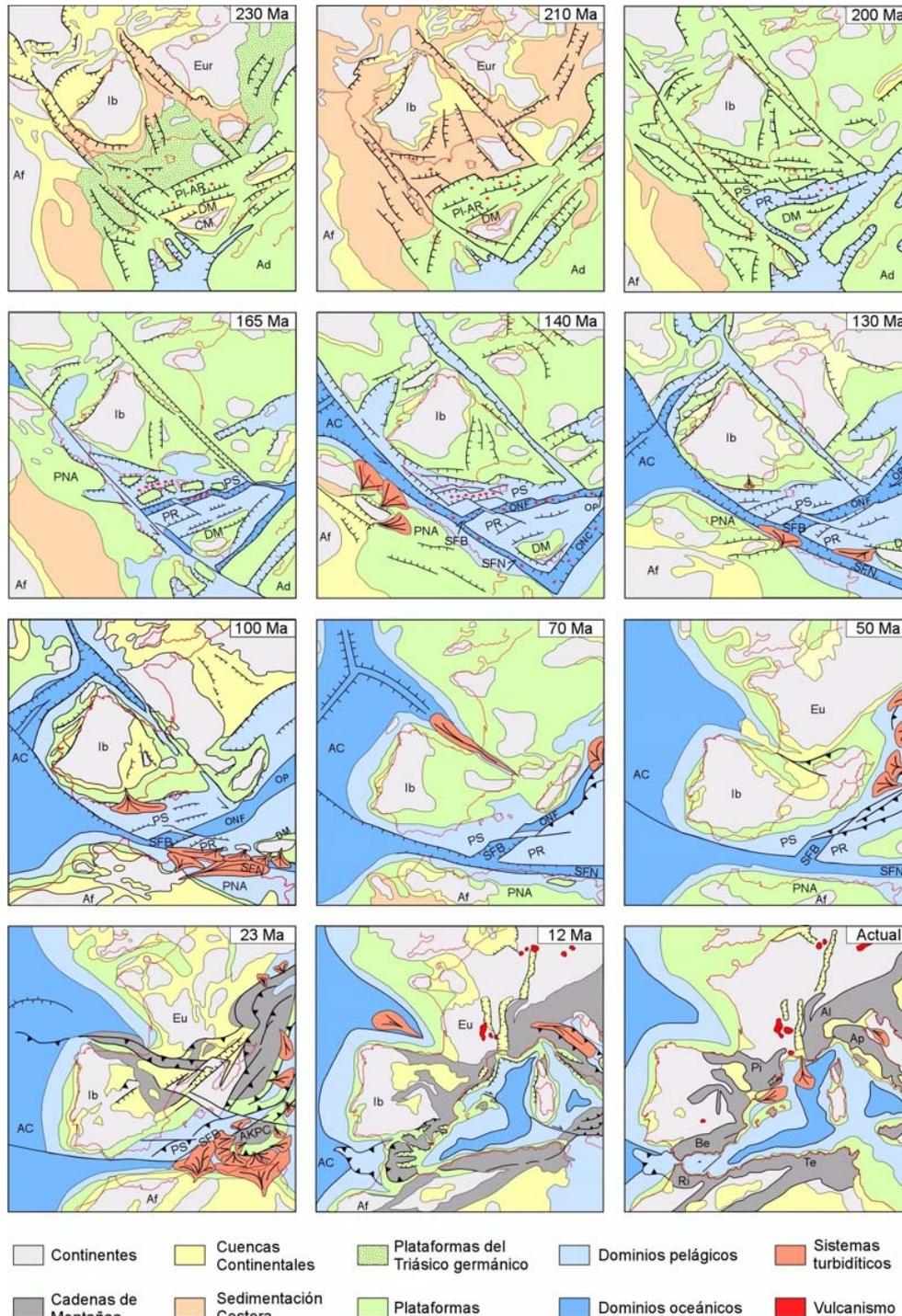


*Pérmico superior - 260 ma. Fuente: Ron Blakey*

El fin del Pérmico y del Paleozoico viene marcado por una extinción masiva. El clima poco favorable, la unión de todas las masas continentales en una sola, una abundante actividad volcánica que se desencadenó en Siberia y expulsó enormes volúmenes de gases tóxicos a la atmósfera, son algunas de las causas que se han barajado para explicar esta extinción. Sin embargo, fue el choque de un meteorito de grandes dimensiones el responsable de este acontecimiento. El impacto se ha datado en 251 millones de años, fecha que marca el límite entre la era Paleozoica y Mesozoica. Esta extinción, denominada “la gran mortandad”, ha sido la mayor hasta el momento. Considerados los organismos marinos y subaéreos en conjunto, desapareció entre el 95 y el 97% de las especies, el 83% de los géneros y el 57% de las familias. Los anfibios quedaron diezmados e incapaces de colonizar las áreas desérticas que abundan por doquier, que son rápidamente invadidas por los reptiles, entre los que se encuentran ya los terápsidos, precursores de los mamíferos.

### 2.3. Evolución de Andalucía durante el Mesozoico y Cenozoico. El Ciclo Alpino

Durante el Mesozoico, el Macizo Ibérico era el único relieve emergido en Andalucía y en su borde SE se formó un margen continental, el Paleomargen Sudibérico, donde se fueron depositando las rocas que más tarde constituirán la Cobertera Tabular y las Zonas Externas de la Cordillera Bética. Las Zonas Internas se formaron sin embargo en y alrededor de la Placa Mesomediterránea, ubicada en una posición actualmente ocupada por el Mediterráneo. Estos dominios fueron cuencas oceánicas estrechas y márgenes continentales que se abrieron en los bordes de una serie de antiguos microcontinentes o microplacas que se iban desgajando de Pangea. Además de la Placa Ibérica y la Subplaca Mesomediterránea, hay que considerar también a la Placa Africana, con su zona emergida (continente Africano) y su margen continental adyacente por el Norte.



*Evolución paleogeográfica de la Cordillera Bética.*

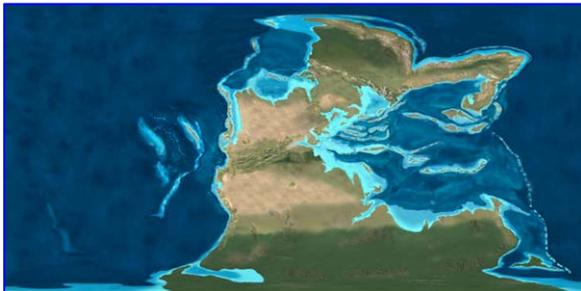
*Fuente: A. Martín-Algarra, L. O'Dogherty y J.A. Vera, sobre la base de figuras de Ziegler, 1999,*

**TRIÁSICO (251-200 Ma).** La Pangea, el supercontinente formado a finales del Paleozoico, comienza a romperse con la aparición de un mar ecuatorial denominado Neotethys, precursor del Mediterráneo, que convierte gran parte de la superficie que ocupa actualmente Andalucía en una extensa llanura costera cruzada por ríos. El Triásico se caracteriza por la fracturación incipiente del supercontinente Pangea, con la formación y desarrollo de numerosos y complejos sistemas de rift con diferente subsidencia y evolución. Al inicio de este período comenzó la individualización del paleomargen sudibérico, que permitió el depósito de materiales continentales y marinos someros (Triásico y Lías hasta el Carixiense) que alcanzaron grandes potencias. Dentro de este contexto se depositaron los materiales procedentes de la desmantelación de los relieves variscos (Sierra Morena), con distintas facies según tres dominios sedimentarios principales.

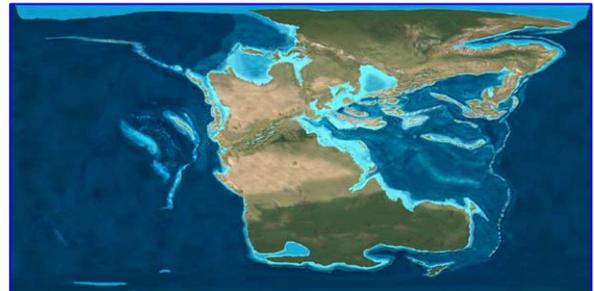
Durante el **Triásico inferior**, al igual que en el Pérmico, el clima sigue siendo árido y caluroso, con lluvias torrenciales y esporádicas, lo que hizo que los sistemas fluviales de la época fueran muy eficaces erosionando, transportando y depositando sedimentos detríticos (gravas, arenas y arcillas). Estas formaciones fluviales que erosionaban el Macizo Ibérico reciben el nombre de **Buntsandstein** (areniscas abigarradas en alemán, haciendo referencia a los vistosos coloridos rojizos que presentan y que son debidos a un óxido de hierro que se forma en condiciones áridas). A medida que se va erosionando una cordillera, la isostasia tiende a levantarla, y esto queda muy bien reflejado en la repetición de las secuencias sedimentarias: sobre capas de gravas se encuentran otras de arenas y sobre estas de arcillas, lo que indica que la energía de los ríos iba disminuyendo conforme rebajaba el relieve; pero una nueva elevación producía de nuevo una mayor eficacia de los sistemas fluviales, y el depósito de un nuevo ciclo grava-arena-arcilla. Conforme pasaba el tiempo los relieves terminaron por erosionarse y la situación fue estabilizándose, las depresiones se colmataron de sedimentos y en las zonas cercanas al litoral se desarrollaron lagunas, charcas y marismas, bahías y ensenadas; una llanura rojiza salpicada de montes isla y cubierta parcialmente por sistemas de dunas, ambientes sedimentarios de transición entre el continente y el mar, que iba poco a poco ganando terreno.

Durante el **Triásico medio**, la subida del nivel de mar hizo que se formara una extensa y somera plataforma continental donde se depositaron calizas y dolomías - **Muschelkalk**.

El **Triásico superior** viene marcado por una retirada del nivel del mar, desarrollándose una extensa salina que estuvo en funcionamiento millones de años con un clima cálido y que originó potentes espesores de arcillas mezcladas con yeso y sal. Se conocen estas facies como **Keuper**, cuyo nombre también hace alusión a su color abigarrado. Algo similar se reconoce hoy en el Mar Muerto, un ambiente sedimentario extremadamente árido e invadido por aguas salobres y que recibe el nombre de Sabkha.



*Triásico inferior - 240 ma. Fuente: Ron Blakey*



*Triásico superior - 220 ma. Fuente: Ron Blakey*

Conforme nos acercamos al final del Triásico, Iberia se ha desplazado hacia el Norte, disminuyendo su aridez. El Neotethys va invadiendo el territorio, instalando una plataforma continental somera y extensa donde comienza el depósito de calizas y dolomías.

El Triásico está comprendido entre dos de las mayores extinciones o crisis de la vida sobre el planeta: la gran extinción del Pérmico y la extinción del final del Triásico. Supone pues un momento delicado para la historia de la vida. Durante esta época seca y cálida las gimnospermas como los ginkgos comenzaron a expandirse por el territorio y los reptiles se encontraban en plena radiación, de los que se conservan restos fósiles y huellas de su actividad. En las plataformas continentales eran muy abundantes los ceratites que nadaban en unas aguas donde abundaban peces y anfibios y que comenzaban a ser colonizadas por los reptiles. A finales del Triásico aparecen los primeros mamíferos, descendientes de los antiguos sinápsidos (reptiles mamíferoides).

**JURÁSICO (200-145 Ma).** El proceso de rifting iniciado a finales del Pérmico y que caracterizó el Triásico, duró hasta el Jurásico, época en la que Iberia estaba ya convertida prácticamente en una penillanura y en cuyos bordes prosperaban ríos meandriiformes, rodeada de cuencas oceánicas con sedimentación esencialmente marina.



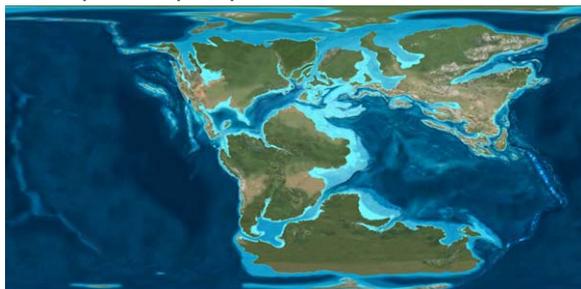
*Jurásico inferior - 200 ma. Fuente: Ron Blakey*

En el Jurásico inferior, hace unos 190 Ma, comienza una fase de rifting que marca realmente el inicio del margen continental sudibérico, delimitándose los dominios que hoy se reconocen en las Zonas Externas de la Cordillera Bética: Prebético, Unidades Intermedias y Subbético. Esta configuración del fondo oceánico se mantuvo hasta el Cretácico inferior y en ella se reconoce claramente una plataforma continental (Prebético) adyacente al continente, donde se depositaron potentes series de calizas, el talud continental (Unidades Intermedias), con depósitos turbidíticos, y una cuenca oceánica (Subbético) con surcos y umbrales, con sedimentación pelágica y con un substrato de corteza continental adelgazada en el que llegó a formarse corteza oceánica. Estas rocas corresponden a los depósitos de la etapa de margen pasivo, y los grandes dominios paleogeográficos permiten diferenciar distintas unidades geológicas.

<b>Prebético</b>	Prebético Externo. Dominio de plataforma más cercano al continente, con materiales marinos someros y costeros, con importantes lagunas estratigráficas.
	Prebético Interno. Dominio de plataforma más alejado, con secciones estratigráficas más potentes y completas con algunos episodios de influencia pelágica hacia las partes más meridionales.
<b>Unidades Intermedias</b>	Dominio del talud continental.
<b>Subbético</b>	Subbético Externo. Dominio de cuenca oceánica poco subsidente, umbrales con depósitos someros y pelágicos. Depósito de calizas pelágicas entre ellas las denominadas facies Ammonítico Rosso, poco potentes y en ellos se reconocen numerosas discontinuidades estratigráficas.
	Subbético Medio. Dominio de cuenca oceánica muy subsidente, surco con depósitos profundos y pelágicos. Se depositaron potentes paquetes de ritmitas de calizas-margas, calizas con sílex, turbiditas y margas radiolaríticas, localmente con intercalaciones de rocas volcánicas.
	Subbético Interno + Penibético. Dominio de cuenca oceánica poco subsidente, umbrales con depósitos someros y pelágicos. Depósito de calizas pelágicas entre ellas las denominadas facies Ammonítico Rosso, poco potentes y en ellos se reconocen numerosas discontinuidades estratigráficas.

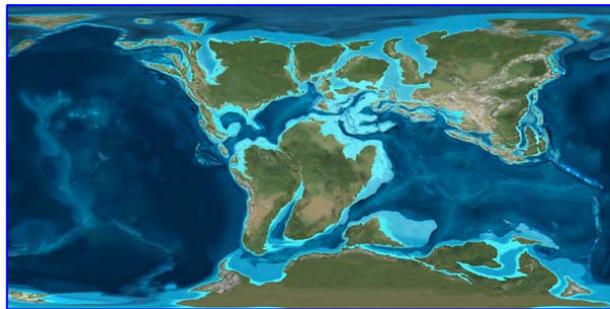
Al otro lado de esta cuenca oceánica se encontraba la Placa Mesomediterránea (Zonas Internas de la Cordillera Bética), acompañada de su plataforma continental.

Fue un período de clima benigno, con condiciones cálidas y húmedas, millones de años con Pangea ya dividida en varios continentes, lo que aumento de manera considerable la superficie de plataformas marinas donde se desarrollaron complejas redes tróficas. La abundancia de alimento hizo prosperar la fauna de invertebrados, entre la que destacan moluscos (ammonites, belemnites), equinodermos como los crinoideos, corales, braquiópodos, lamelibranquios, esponjas, etc.... Los continentes se cubrieron de bosques de gimnospermas y pteridofitos que fueron el sustento de ecosistemas en los que prosperaron los reptiles que poblaron los distintos medios de tierra firme, costeros y de agua dulce. Los



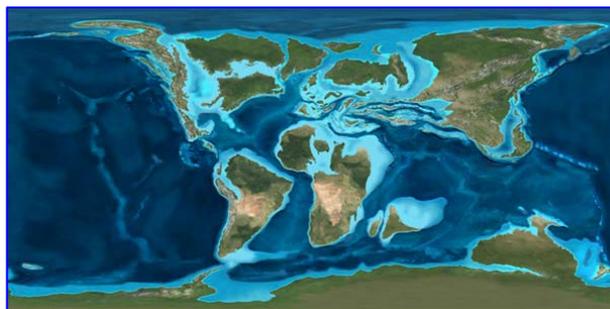
pterosaurios (reptiles voladores) ocuparon el medio aéreo y los ictiosaurios y plesiosaurios (reptiles marinos) dominaban los océanos junto con los tiburones. La irrupción de los reptiles carnívoros en el medio marino constituyó una gran competencia para los tiburones que habían sido el vértice de las cadenas tróficas desde el Carbonífero y que respondieron a esta presión colonizando aguas someras, dulces de marisma, estuarios y curso fluviales. *Jurásico superior - 150 ma. Fuente: Ron Blakey*

**CRETÁCICO (145-65 Ma).** La individualización de surcos y umbrales en este margen de tipo alpino se mantuvo hasta el Cretácico inferior (190-100 Ma). Simultáneamente tuvieron lugar desplazamientos horizontales muy importantes de la Placa Ibérica con respecto a la Placa Africana, desplazándose ésta última un millar de kilómetros hacia el este (respecto a la primera), hasta ocupar posiciones relativas similares a las actuales. La sedimentación en este intervalo de tiempo alcanzó su máximo desarrollo en los márgenes sudibérico y norteafricano, siendo mínima en la Subplaca Mesomediterránea, la cual estaría emergida casi en su totalidad sin unos márgenes continentales adyacentes desarrollados.



*Cretácico inferior - 120 ma. Fuente: Ron Blakey*

En el intervalo comprendido entre el inicio del **Cretácico superior** (100-65 Ma) y hasta algún momento dentro del Paleoceno el margen continental siguió siendo expansivo y la sedimentación se hizo más uniforme, quedando niveladas las irregularidades del fondo (surcos y umbrales) del dominio pelágico de la etapa anterior. A partir de aquí se diferencian dos dominios: el Prebético, adyacente al continente, con sedimentación marina somera y episodios costeros y continentales y el resto de la cuenca (Dominio Intermedio y Subbético) con facies pelágicas margosas, localmente con intercalaciones turbidíticas. Afloran en los núcleos de los sinclinatorios y constituyen el conjunto minoritario en cuanto a superficie de afloramiento ocupada. Este tipo de materiales da un relieve suave en lomas que suele estar intensamente cultivado. El pequeño tamaño de la Placa Mesomediterránea (Zonas Internas) comparado con las grandes placas que la rodean, el estar flanqueada por fallas muy activas como la Falla de Gibraltar, y su proximidad a los rifts que están abriendo el Tethys y el Surco de Gibraltar, la hacen derivar sin rumbo fijo y la tienen sometida a esfuerzos que fracturan sus plataformas continentales, dándoles un aspecto escalonado e irregular. La actividad sísmica en Alborán debía ser importante.



*Cretácico superior - 90 ma. Fuente: Ron Blakey*

Al final del Cretácico Iberia es tectónicamente muy activa, ya que al doble movimiento de la Placa Ibérica (rotación antihoraria por la apertura del Golfo de Vizcaya y deriva hacia el este por la extensión del Océano Atlántico), se suma un movimiento de la Placa Africana en dirección norte. Comienza ya a notarse los primeros síntomas de la compresión alpina, las plataformas continentales se fracturan y la Cuenca Bética comienza a levantarse y la Placa Mesomediterránea ha detenido su deriva hacia el este y el Surco de Gibraltar ha dejado de producir corteza oceánica.

Con una duración de 80 millones de años, es el periodo más largo del Fanerozoico. La alta actividad volcánica a nivel mundial y especialmente en las dorsales oceánicas, dio lugar a una gran movilidad de los continentes y a varios ascensos y descensos del nivel del mar, alguno de más de 250 m. Las temperaturas son cada vez más altas debido a un fuerte efecto invernadero. La biosfera continúa una etapa de máxima producción en las plataformas continentales, que ha llegado hasta nuestra días en forma de grandes reservas petrolíferas. Al principio del Cretácico aparecen las angiospermas o plantas con flor y los insectos sociales, que coevolucionan paralelamente, estrategia que ha resultado muy eficaz, como demuestra la rápida expansión y alta diversidad de ambos grupos de organismos. La bonanza del clima propició una producción vegetal intensa y condiciones ambientales muy favorables para el aumento de dinosaurios herbívoros grandes para hacer frente a los numerosos carnívoros, que coevolucionaron junto a los anteriores adquiriendo técnicas más sofisticadas como cacerías en grupo, mayor agilidad, etc. Sin embargo, la intensa actividad volcánica originó paulatinamente un notable deterioro de las condiciones ambientales que fue degradando paulatinamente los ecosistemas. El final del Cretácico y de la era Mesozoica viene marcado por otra gran extinción masiva originada por el impacto de un meteorito. Esta extinción causó menos estragos en la biosfera que la del final del Paleozoico, pero es quizás la más conocida, porque entre otros, se extinguieron para siempre los grandes dinosaurios, así como los ammonites que poblaron los mares mesozoicos. Este episodio

catastrófico dejó a Iberia, situada en plena zona de actividad, cubierta de cenizas, arrasada por olas gigantes y sin un árbol en pie.

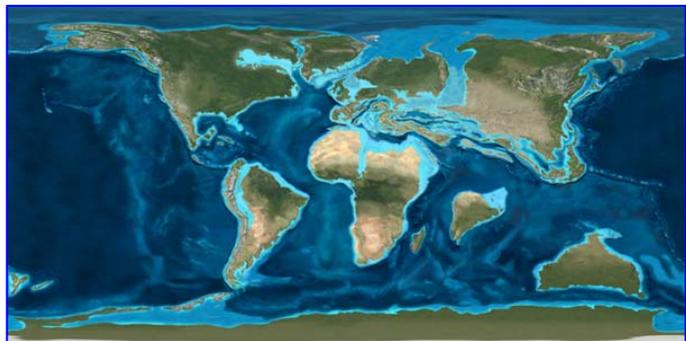
**PALEÓGENO (65-23 Ma).** El Paleógeno abarca **Paleoceno, Oligoceno y Eoceno** y hay que tener en cuenta que Toda la era Cenozoica (Paleógeno, Neógeno y Cuaternario) tiene 65 millones de años, 15 menos que el Cretácico.

En el Cenozoico se completa la Orogenia Alpina, lo que originó en Iberia el levantamiento de varias alineaciones montañosas (entre otras de la Cordillera Bética) y una regresión generalizada en las cuencas marinas.

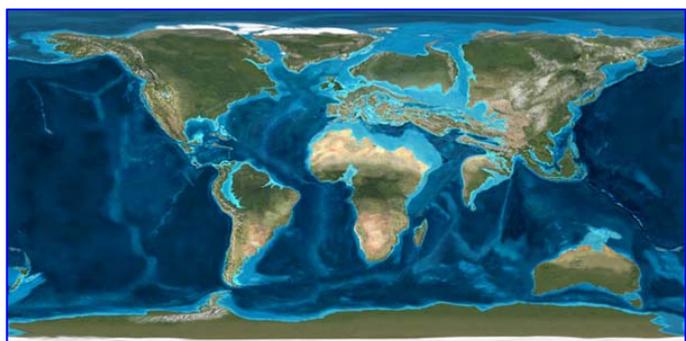
En nuestro territorio, a principios del Paleoceno se notan los primeros síntomas de compresión. Durante el Paleógeno (Paleoceno-Oligoceno), la cuenca bética permanece relativamente tranquila a pesar de que el contexto es cada vez más compresivo, continúa la sedimentación en la Cuenca Bética. La etapa de margen continental convergente se inició en el Paleoceno (66,5 Ma) y terminó con la colisión continental (Mioceno medio). En esta etapa tuvieron lugar depósitos pelágicos con intercalaciones de turbiditas que alcanzaron su máximo desarrollo en los surcos profundos existentes entre las Placas Ibérica y Africana y la Subplaca Mesomediterránea, surcos que eran la patria de las Unidades del Campo de Gibraltar. Estos materiales eran traídos por corrientes de turbidez muy violentas producidas probablemente por fuertes terremotos y que evidencia el contexto geológico inestable de la zona. Dentro de la Subplaca Mesomediterránea se produjeron cambios muy importantes, con la estructuración en mantos de sus unidades y con la formación de un bloque continental rígido que en época posteriores se desplazará hacia el oeste.

Iberia se encuentra en una zona tectónicamente conflictiva, la extensión de Atlántico la empuja hacia el Este y la apertura del Golfo de Vizcaya (que había comenzado en el Jurásico superior), la obliga a realizar un giro en sentido antihorario. África comienza una deriva hacia el Norte y pone en movimiento el conjunto de microplacas que se encontraban en el entorno del Neotethys: entre otras la Placa Ibérica, que se incrusta contra Europa formando los Pirineos; la Placa Mesomediterránea, que cambia su rumbo y se dirige hacia el Oeste hasta chocar contra Iberia, deformando las rocas depositadas en la cuenca bética y formando la Cordillera Bética.

Tras la extinción y después de la intensa actividad volcánica del Cretácico, los primeros 10 millones de años del Paleógeno fueron bastante tranquilos, con un clima que seguía siendo bastante cálido, lo que permitió una rápida recuperación de la biosfera. El Cenozoico ha tenido también episodios volcánicos que afectaron a los ecosistemas, aunque menos intensamente que en el Cretácico. *Limite Cretácico- Paleoceno - 65 ma. Fuente: Ron Blakey*



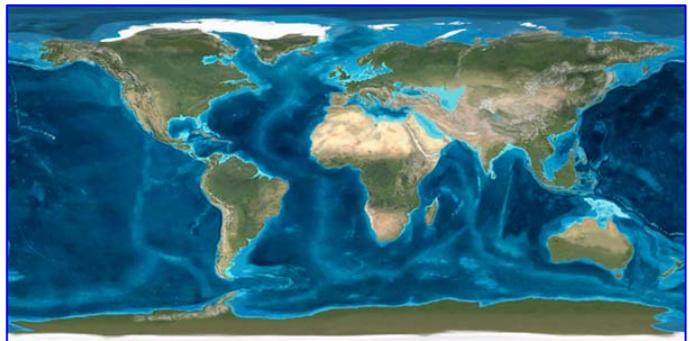
A principios del Eoceno se vertieron al Atlántico Norte (Islandia) 9 millones de km<sup>3</sup> de basaltos en apenas 3 millones de años. A pesar del esporádico vulcanismo de los 30 primeros millones de años del Cenozoico, la biosfera recuperó rápidamente su productividad y continuaron formándose (al igual que en el Cretácico) grandes cantidades de hidrocarburos en las plataformas continentales. Pero hace 36 millones de años, en el Eoceno, el clima comenzó a volverse más frío, debido sobre todo a la individualización de la Placa Antártica y su posicionamiento en el Polo Sur, comenzando a formar un casquete glaciar que se mantendrá hasta nuestros días. En el Polo Norte sin embargo no comienza la glaciación hasta el Plioceno, hace 3 millones de años. *Eoceno - 50 ma. Fuente: Ron Blakey*



Pero sin duda el episodio más importante de la biosfera es la rápida radiación de los mamíferos y entre ellos de los primates. Los mamíferos no se limitaron a ocupar los nichos ecológicos que habían quedado vacantes tras la extinción del final del Cretácico, sino que además a lo largo del Mesozoico habían adquirido una serie de mejoras que les proporcionaron grandes posibilidades como la especialización de los dientes, mejora de la ventilación pulmonar, el pelo, etc. Todo ello dará lugar a una rápida diversificación de los mamíferos que les ha llevado a dominar las cadenas tróficas actuales. También hubo un rápido relevo de la flora: el porcentaje de helechos disminuye y las angiospermas desplazan a las coníferas y otras gimnospermas a zonas con condiciones ambientales más estrictas. Las manadas de herbívoros mantienen extensas praderas de gramíneas.

**NEÓGENO (23-1,8 Ma).** El Neógeno se divide en **Mioceno** y **Plioceno**. Es en esta época cuando comienza la elevación de las principales cadenas montañosas alpinas.

Los cambios paleogeográficos más significativos del área geográfica que actualmente ocupa Andalucía ocurrieron desde el **Mioceno inferior al inicio del Mioceno superior**, aunque los movimientos aún no han terminado. Durante los millones de años anteriores, estos es, desde el inicio del Jurásico (200 Ma) hasta el Mioceno basal (hace 23 Ma), la línea de costas estuvo en el borde sur del Macizo Hercínico y el mar ocupó el resto. En este intervalo de tiempo (Mioceno inferior hasta el inicio del Mioceno superior) tuvo lugar la colisión continental, la formación de las Cordilleras Béticas como una cadena montañosa emergida y la individualización de las Depresiones Neógenas, lo que implican notables y constante cambios de la línea de costas.



*Mioceno - 20 ma. Fuente: Ron Blakey*

Las fallas que se produjeron en la Orogenia Varisca (Sierra Morena) y en la distensión pérmica y que desde entonces habían dirigido los movimientos de los bloques que componían las plataformas continentales de Iberia, son las que ahora acusan la compresión. Las fallas normales pasan a ser inversas, su movimiento absorbe la compresión a que se ve sometida la litosfera continental de Iberia y los sedimentos mesozoicos depositados en el Mar de Tethys que la recubren se despegan del zócalo paleozoico y se deforman.

La Cordillera Bética es el resultado de un choque tangencial en el que se produce subducción de una pequeña porción de corteza oceánica. La Placa Mesomediterránea (Alborán) se desplaza con cierta rapidez hacia el oeste, hacia el Estrecho de Gibraltar y acaba incrustándose contra el sur de Iberia.

El resultado de la colisión es que el Flysch del Surco de Gibraltar cabalga sobre el Subbético, y este a su vez sobre el Prebético. Los tres conjuntos de materiales son apilados apretadamente sobre el margen de Iberia empujados por la Placa Mesomediterránea, que queda también cabalgada sobre la Placa Ibérica y estructurada también en tres grandes complejos (Nevado-Filábride, Alpujárride y Maláguide) y en mantos, formando los relieves de la Sierra de Ronda, Sierra Nevada, Sierra de los Filabres, Sierra de Baza, Sierra Espuña, las Alpujarras, etc.

Al **final del Mioceno superior** (6,5 Ma) el mar se retiró de las cuencas intramontañosas más separadas de las líneas de costas actuales, pasando a ser cuencas endorreicas.

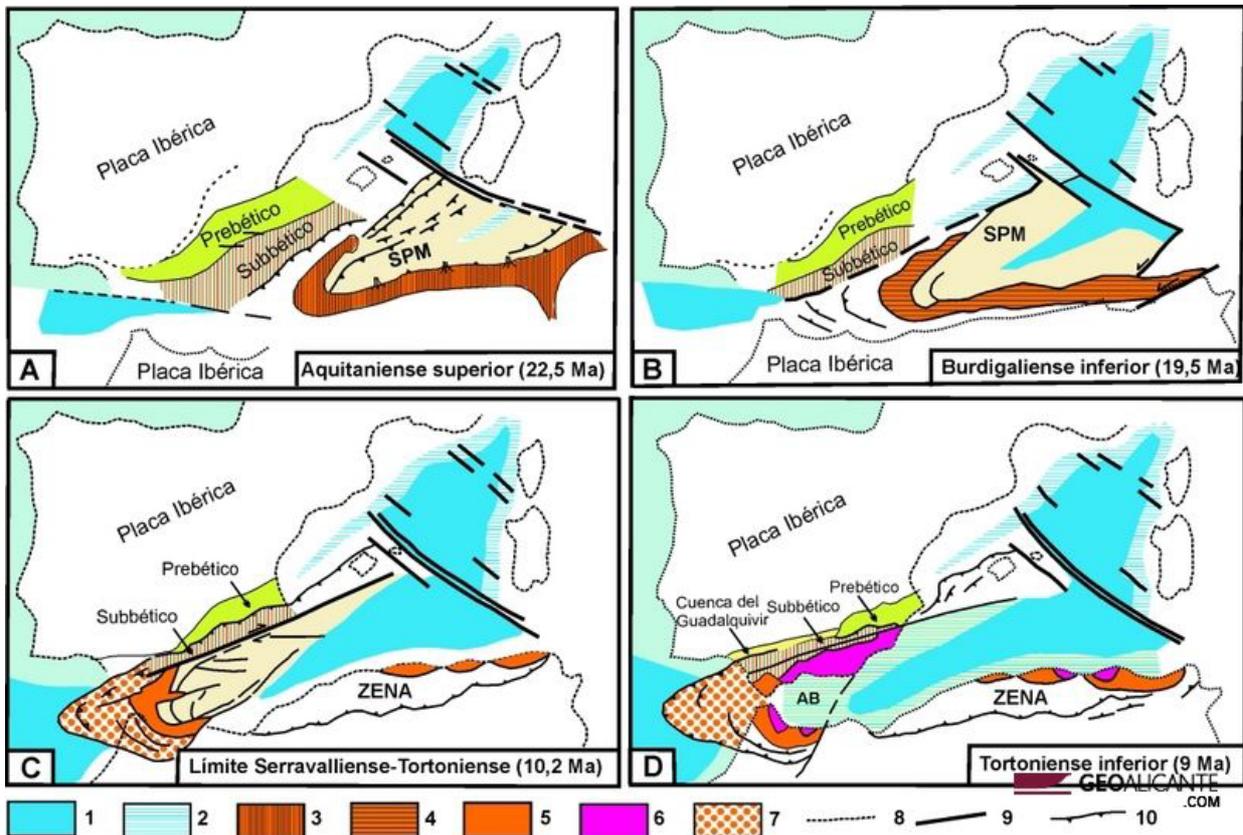
El Arco que forman las Béticas y la Cordillera del Rift a través del Estrecho de Gibraltar llegó a cerrarse a finales del Mioceno, lo que unido a procesos glacio-eustáticos aisló al Mar Mediterráneo del Atlántico, provocando uno de los episodios más dramáticos para los ecosistemas marinos mediterráneos, la **Crisis de Salinidad Messiniense**, que comenzó hace unos 6,5 millones de años y duró 1,5 millones de años aproximadamente. Durante esta época la comunicación pudo darse al parecer de forma esporádica a través de angostos pasos. El nivel del mar comenzó a bajar y en su fondo se depositaron enormes cantidades de evaporitas.

Sondeos realizados demuestran que el fondo del Mediterráneo está tapizado de más de 2000 m de espesor de sal, lo que indica que el mar quedó prácticamente desecado con una enorme llanura salina en su fondo. Durante 1 millón de años el Mediterráneo permaneció seco y provocó una consecuencia inmediata: los ríos continentales comenzaron una rápida erosión remontante que provocó su fuerte encajamiento en los valles.



Mioceno superior

A finales del Messiniense y posiblemente de manera brusca el estrecho de Gibraltar adoptó su configuración actual, volviendo a abrirse la comunicación entre el Mediterráneo y el Atlántico. Se estima que el Mediterráneo se llenó por completo en 1000 años y se estima un caudal una 1000 veces que las cataratas del Niágara.



Reconstrucciones paleogeográficas del sur de Iberia desde antes del inicio de la colisión, en el Mioceno inferior (Aquitaniense superior), hasta el final de la colisión en el inicio del Mioceno superior (según: Sanz de Galdeano y Vera, 1992; Basin Research, 4: 21-36). Fuente: [www.geoalicante.com](http://www.geoalicante.com)

**Legenda:** **SPM.-** Subplaca Mesomediterránea. **ZENA.-** Zonas Externas de las cadenas norteafricanas. **AB.-** Cuenca de Alborán. **1.-** Corteza oceánica. **2.-** Corteza continental adelgazada. **3.-** Surco de los flyschs. **4.-** Materiales depositados en el surco de los flyschs parcialmente desplazados. **5.-** Complejo del Campo de Gibraltar y unidades equivalentes de otras cadenas. **6.-** Zonas Internas (de la Cordillera Bética y de las cadenas norteafricanas). **7.-** Áreas con gran cantidad de elementos deslizados (olistostroma). **8.-** Líneas de costa actual. **9.-** Fallas principales. **10.-** Frente de los olistostromas.

En la región de **Cabo de Gata** durante el Mioceno superior tuvieron lugar importantes erupciones volcánicas, que dan un afloramiento importante al este de Almería constituido mayoritariamente por riódacitas. Las rocas volcánicas que aparecen a lo largo de la zona litoral de Almería y Murcia son en parte el resultado de manifestaciones volcánicas escasamente representadas a nivel global, el vulcanismo ultrapotásico (lamproítico), cuyo conocimiento es esencial para el estudio de los magmas que proceden del manto terrestre. En esta zona además se localizan los afloramientos-tipo, de donde las rocas tomaron su nombre: veritas, jumillitas, fortunitas y cancarixitas. Su origen está relacionado con los procesos extensivos del Mioceno y además de la serie ultrapotásica, se diferencian otras 4 asociaciones magmáticas: a) serie calcoalcalina, b) serie calcoalcalina alta en potasio, c) serie shoshonítica y d) serie basáltica alcalina. Los yacimientos se encuentran asociados a chimeneas volcánicas, domos y diques, conservándose restos de los centros de emisión y coladas, de carácter subacuático somero.

Durante el **Plioceno inferior** (5 Ma) la línea de costas difería de la actual, solamente, en que el mar invadía parte de las cuencas neógenas de Almería y Málaga y en que penetraba por la Depresión del Guadalquivir hasta cerca de Sevilla. Las áreas subsidentes que quedaron "deprimidas" después de la elevación de la Cordillera Bética se rellenaron de sedimentos durante el Mioceno superior, Plioceno y, más localmente, Pleistoceno producto de la erosión de los nuevos relieves. La más extensa de estas depresiones es la Depresión (o cuenca) del Guadalquivir, localizada entre el Macizo Hercínico de la Meseta y el borde septentrional de las Cordilleras Béticas. Se trata de una cuenca de antepaís, que se superpone al surco frontal que existiría al norte de la cordillera a la vez que se iba formando. Tiene una marcada asimetría ya que el borde norte (macizo hercínico) es tectónicamente inactivo mientras que el borde sur sería activo, lo que trae como consecuencia que junto a este borde activo se depositasen importantes volúmenes de olistostromas formados por masas (olistolitos) de procedencia bética en el seno de materiales del Mioceno. La mitad norte de la Depresión del Guadalquivir corresponde a afloramientos del Mioceno superior y Plioceno sin olistostromas.

Además de la Depresión del Guadalquivir, se incluyen un conjunto de áreas ubicadas dentro de las Cordilleras Béticas (*cuencas intramontañosas*) que tienen importantes rellenos sedimentarios de materiales neógenos postorogénicos. Entre ellas destacan por su amplitud y potencia del relleno sedimentario, de oeste a este, las depresiones o cuencas de: Ronda, Granada, Guadix-Baza, Almería, Sorbas y Huerca Overa. El relleno sedimentario de estas cuencas intramontañosas se inició durante el Tortonense en medios marinos. Durante el Messiniense y el Plioceno se retiró el mar de las cuencas más alejadas de las costas actuales y se depositaron importantes volúmenes de sedimentos continentales (p.ej. Depresión de Guadix-Baza). Las depresiones postorogénicas tienen sus materiales con escasa deformación de manera que quedan subhorizontales dando un relieve muy característico. Estas cuencas intramontañosas, especialmente en las épocas de clima cálido y húmedo, tenían una vegetación y una fauna muy parecida a la que encontramos actualmente en las llanuras africanas: praderas de gramíneas con árboles y arbustos dispersos en las que ramoneaban herbívoros antecesores de los caballos y los hipopótamos, rinocerontes y, desde luego, los carnívoros como los tigres dientes de sable y los hiénidos; lo más parecido a una sabana. En los ambientes lacustres había cocodrilos, serpientes, tortugas, peces y anfibios, y en las zonas montañosas abundaban los osos y los lobos. El paisaje y la fauna se iban pareciendo a los actuales.

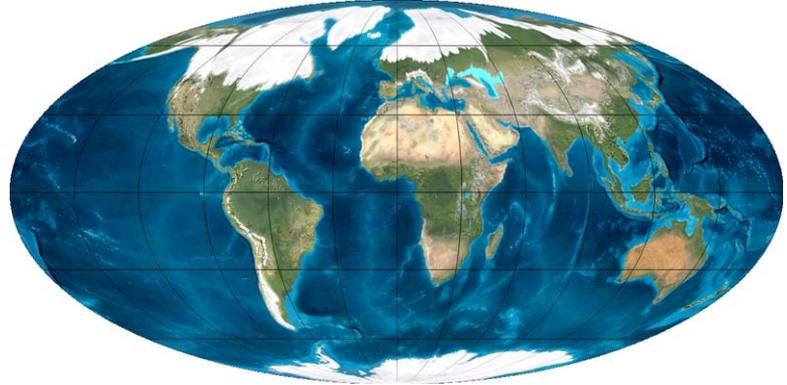
Durante esta época gran parte de la Península estaba cubierta por una selva de árboles tipo laurel, que necesitaban bastante humedad y un clima benigno, sin heladas. En esta época, el planeta estaba más caliente que en la actualidad. Hoy ya no se ven esas exuberantes formaciones vegetales en la Península, aunque en ciertos refugios húmedos y cálidos aún quedan algunos testigos, como el propio laurel y los helechos (canutos de Cádiz) o el loro (arbolillo pariente cercano de los ciruelos y cerezos, pero de hoja perenne). Los célebres pinsapos de Málaga y Cádiz también llevan ahí muchísimo tiempo, gracias a las abundantes lluvias que recogen estas montañas. Pero lo que mejor representan aquellos medios son las laurisilvas canarias, bosques neblinosos de Tenerife y La Gomera. En esta época vivían los driopitecus en las laurisilvas peninsulares, grandes monos encontrados fósiles en Cataluña.

La **configuración de la línea de costas de Andalucía** durante los últimos 5 millones de años es el resultado de la dinámica litoral y su balance sedimentario, encargado de distribuir, erosionar y depositar los materiales transportados por los sistemas fluviales hasta el mar. Tanto la costa mediterránea como la atlántica presentan amplias llanuras costeras de origen sedimentario, con numerosas formas fósiles y actuales como cordones litorales, estuarios, deltas, sistemas de dunas, flechas, tómbolos, terrazas marinas, etc.

**CUATERNARIO (1,8 Ma-actualidad).** Se divide en Pleistoceno y Holoceno. El Cuaternario se hace coincidir con la llegada de los hielos a las latitudes templadas de Europa y América del Norte. Durante el Pleistoceno hubo varios episodios glaciares e interglaciares. Los últimos 4 periodos glaciares son Günz, Mindel, Riss y Würm. El Holoceno comienza precisamente con el establecimiento del último periodo interglaciar, momento en que el *Homo sapiens* entra en escena.

Al inicio del Pleistoceno (1,8 Ma) se produce un levantamiento generalizado de gran parte de Andalucía que dio lugar al encajamiento de la red fluvial, que ya sería bastante similar a la actual y a la disposición de la línea de costas que también sería similar a la actual. Únicamente en algunas depresiones neógenas (p.ej. Guadix-Baza) hubo depósito de materiales continentales del Pleistoceno con cierta potencia, ya que en el resto la erosión dominó sobre el depósito.

Al final del Pleistoceno (0,1 Ma) la red fluvial actual quedó definitivamente estructurada y el depósito de los materiales holocenos se limitó a las zonas de inundación de los ríos actuales.

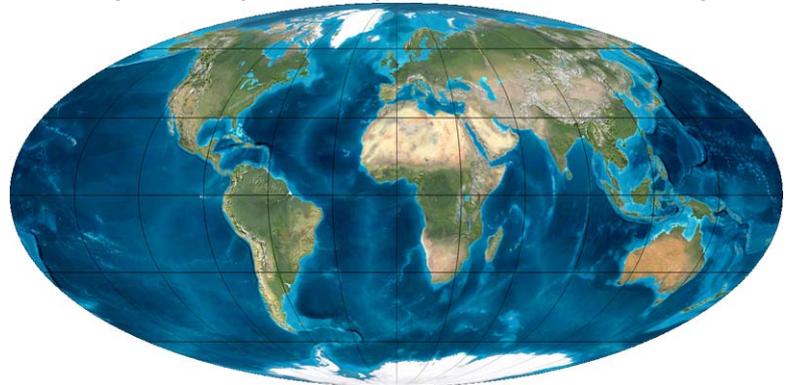


*Pleistoceno. Fuente: Ron Blakey*

Sin embargo es importante tener en cuenta que la orogenia alpina aún no ha terminado y Andalucía es un ejemplo de ello. Alborán (Placa Mesomediterránea) parece haberse frenado del todo, pero los reajustes isostáticos continúan y las fallas no han terminado de absorber los movimientos, además de que África no se ha detenido todavía y de que la antigua Falla de Gibraltar aún conserva capacidad de movimiento. Esa es la causa de que la sutura bética y el entorno del Mar de Alborán continúen siendo zonas con riesgo sísmico.

A comienzos del Holoceno se empieza a gestar el definitivo asentamiento de las condiciones climáticas y de los paisajes actuales. El final de la última glaciación provoca la paulatina fundición de las grandes masas de hielo, lo que motiva a su vez un ascenso de latitud del frente polar.

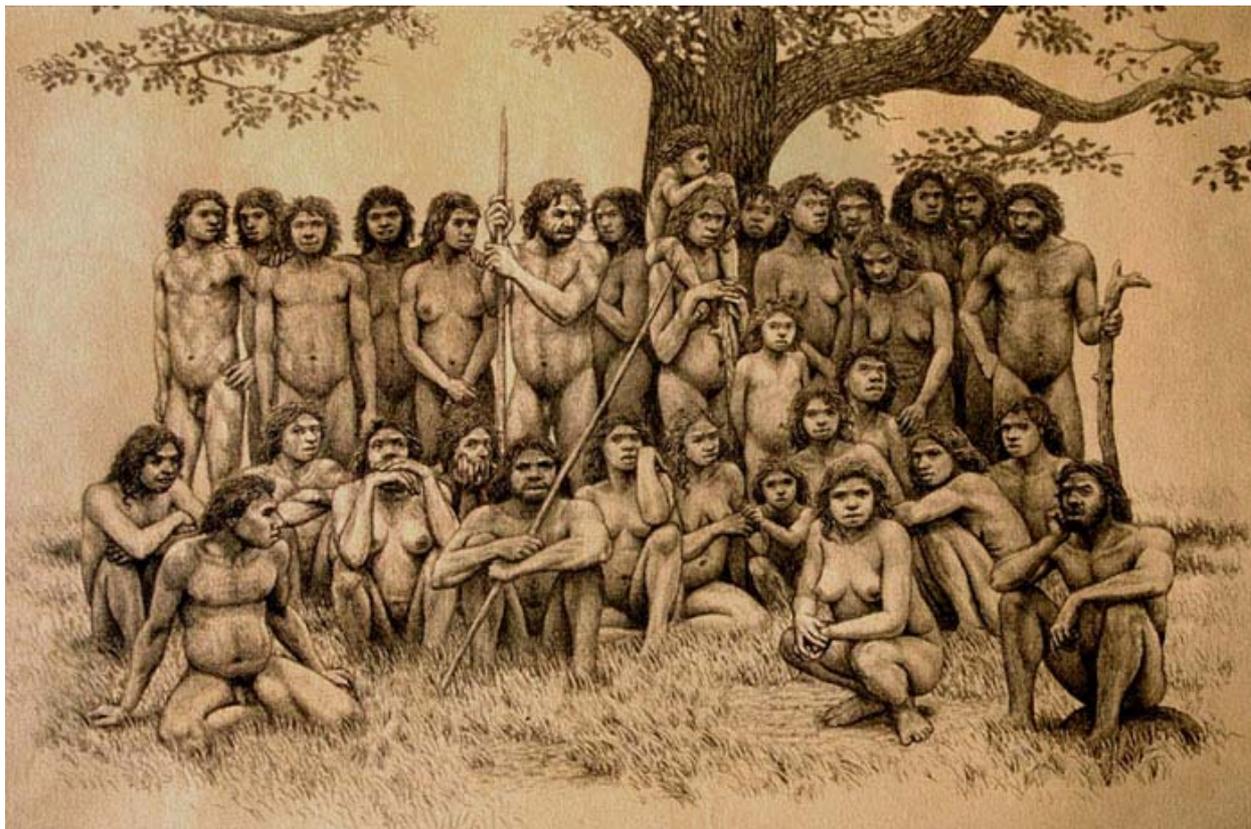
Se produjo una fuerte subida del nivel del mar, un aumento de la pluviosidad y de la temperatura, provocando la morfología actual de las costas, un retroceso del paisaje de tundra y que grandes superficies se cubrieran de bosques.



*Actualidad. Fuente: Ron Blakey*

En Iberia hace 10.000 años terminó la glaciación y entonces el paisaje empezó a poblarse de árboles, salvo en las montañas más altas, y adquirió su fisonomía actual, la que tenía antes de que los primeros agricultores y ganaderos empezaran a abrir, pocos milenios después, claros en los bosques para sus cultivos y sus animales domésticos. Los últimos cazadores y recolectores explotaban todos los recursos disponibles, tanto marinos como terrestres. Esta fue la época en que la naturaleza salvaje proporcionó más calorías a los seres humanos. Algunas especies se adaptaron, pero las altamente especializadas a las condiciones anteriores no tuvieron más remedio que emigrar a latitudes más septentrionales, llegando algunas incluso a desaparecer, caso del mamut o del rinoceronte lanudo.

Quizá los procesos geológicos más importantes durante el Cuaternario son la evolución y radiación de los homínidos y la configuración de los relieves andaluces.



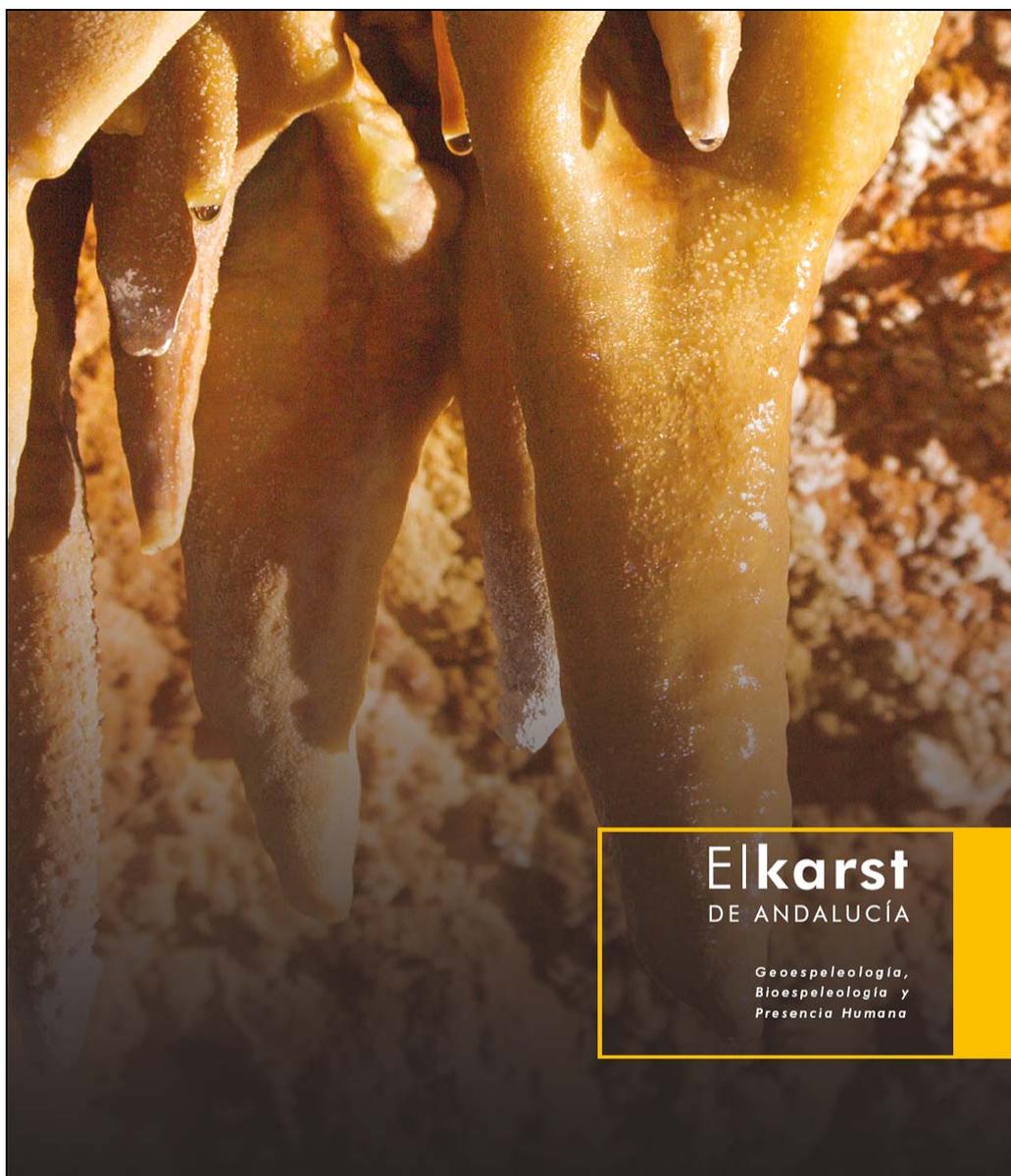
*Familia de Atapuerca (Homo heidelbergensis). Dibujo: Mauricio Antón*

Destacan los numerosos sistemas kársticos de Andalucía que se localizan sobre materiales de diversa naturaleza, principalmente rocas calcáreas y evaporitas, y son el resultado de la acción disolutiva del agua sobre materiales solubles. Este proceso origina una morfología kárstica muy característica y espectacular, tanto a nivel superficial (exokarts), con micro y mesoformas (acanaladuras, lapiaces, surcos, etc.) y macroformas (cañones kársticos, dolinas y poljes, etc.), como a nivel subterráneo (endokarts), donde generan formas de gran belleza (cavidades, espeleotemas, simas, etc.). Además los sistemas kársticos constituyen una base fundamental de los acuíferos subterráneos, donde se acumulan una importante reserva de agua, con recursos de gran calidad.

La configuración de las costas y de los medios de transición entre zonas marinas y continentales es otro de los procesos que tienen hoy una importancia vital desde el punto de vista medioambiental. La formación de las zonas marismas de Doñana y de los ríos Tinto, Odiel, Piedras... constituyen hoy día uno de los ecosistemas más importantes a nivel europeo.

Pero sin duda el principal tesoro geológico andaluz de esta época es la presencia de homínidos ya desde el Plioceno. El Plioceno y Pleistoceno continental de Andalucía es excepcional. El relleno sedimentario de la cuenca de Guadix-Baza atesora yacimientos de vertebrados en depósitos fluviales y lacustres de gran calidad, con un elevado número de restos y una excelente conservación. En los **yacimientos de Fuente Nueva**, del Plioceno superior, se conservan elefantes, hipopótamos y rinocerontes. En **Fonelas** se han hallado más de 350 fósiles de grandes mamíferos (jirafas, dientes de sable, hienas, etc.) con un estado de conservación excelente del límite Plioceno-Pleistoceno, hace 1,8 millones de años, además de restos de industria lítica. En **Venta Micena** se localiza una asociación faunística del Pleistoceno inferior formada por numerosos vertebrados, osos, zorros, panteras, hienas, caballos, elefantes, ciervos, roedores y conejos entre otros, siendo famosa por el hallazgo de un resto óseo, atribuido al cráneo de un homínido, que ha sido objeto de discusión en el ámbito científico durante mucho tiempo. En **Barranco León**, de la misma edad y con el mismo tipo de fauna, aparece además uno de los registros fósiles de *Homo sapiens* más antiguos del continente euroasiático, junto a lascas de sílex y cuarcitas, y más de 15.000 restos fósiles correspondientes a 19 especies de grandes mamíferos extintos, principalmente insectívoros, roedores, lagomorfos, carnívoros y artiodáctilos.

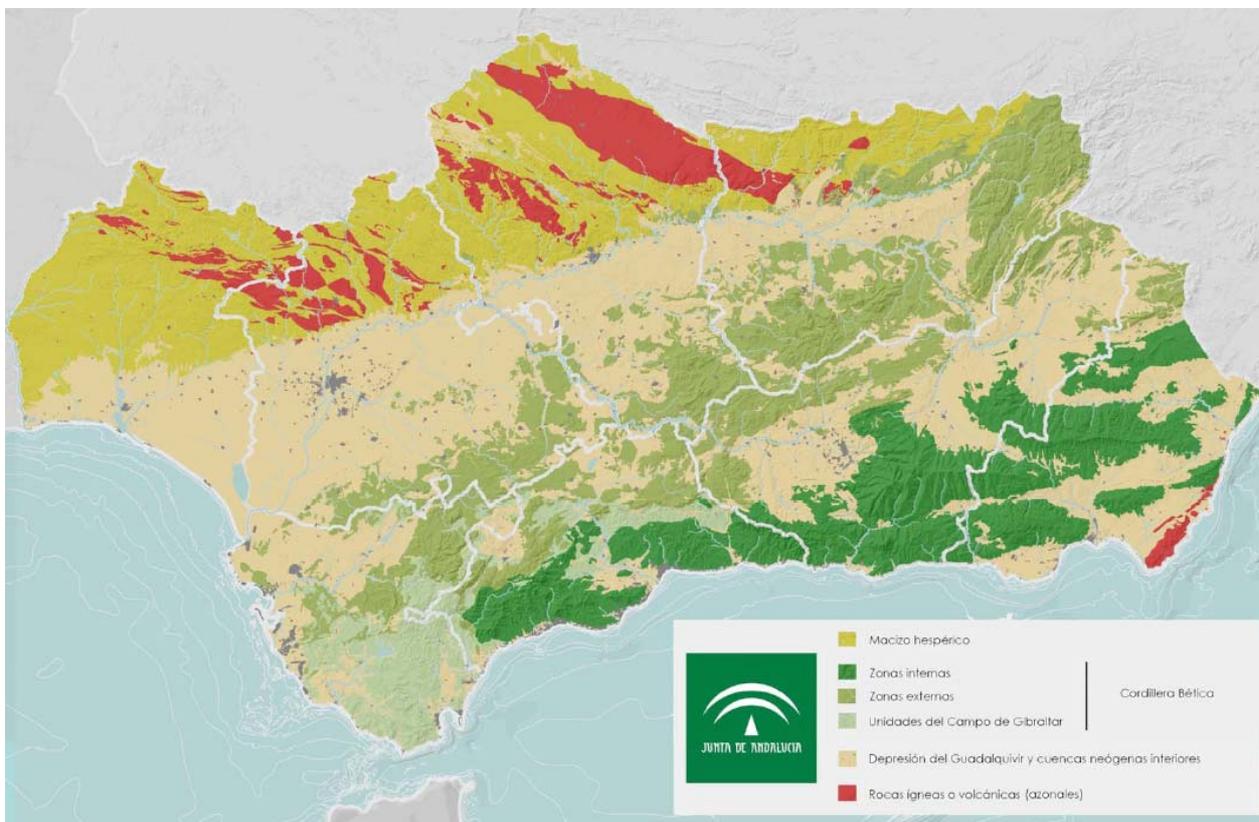
También es muy abundante y de excelente calidad el registro de homínidos y de su actividad conservado en cuevas y abrigos. Estos medios fueron de vital importancia en las épocas frías del Pleistoceno. La enorme cantidad de refugios de piedra que ofrecía en aquella época el territorio andaluz, constituyeron un hábitat idóneo donde se refugiaron los primeros pobladores andaluces de *Homo neandertalensis* y *Homo sapiens*. En la Cueva del **Boquete de Zafarraya**, se han hallado restos óseos de *Homo neandertalensis* y restos de fauna del Pleistoceno. La **Cueva de Nerja** tiene un registro bastante completo de la geología del Cuaternario reciente, con abundantes e importantes restos de actividad antrópica durante los últimos 150.000 años, que ofrecen información crucial para conocer y comprender el paso de las últimas sociedades cazadoras y recolectoras, a las comunidades productoras de alimentos. La **Cueva Horá**, en Sierra Arana, presenta restos de fauna del Pleistoceno superior y un cráneo de 100.000 años de antigüedad. En la **Cueva de La Carihuela** se conserva un registro del Paleolítico Medio, asociado a la industria musteriense, con gran variedad de ejemplares de fauna, principalmente roedores, además de dos fragmentos de parietal y un frontal de *Homo neandertalensis*. El Neolítico, ya con *Homo sapiens*, está muy bien representado en la **Cueva de las Ventanas (Piñar)** y en la **Cueva de los Murciélagos (Zuheros)**, con restos antropomorfos junto a restos paleontológicos de équidos, cérvidos y cápridos.



Calaforra, J.M. y Berrocal, J.A (eds.) 2008. *El Karst de Andalucía, Geoespeleología, Bioespeleología y Presencia Humana.*  
 Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

### 3. Unidades Geológicas de Andalucía

Como se ha avanzado anteriormente en Andalucía se identifican tres grandes unidades geológicas. Su localización geográfica y subdivisión en dominios se resume en el siguiente mapa de síntesis:



*Unidades Geológicas de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.*

En el caso de **Andalucía**, la amplia extensión relativa de su territorio explica, que de norte a sur, aparezcan tres grandes unidades morfoestructurales, que se corresponden con tres dominios geológicos diferentes:

Unidades Morfoestructurales	Unidades Geológicas
Sierra Morena	Macizo Ibérico
Cordillera Bética	Cordillera Bética
Depresión del Guadalquivir y cuencas interiores	Depresiones Neógenas

Éste es uno de los principales factores que determina la excepcional Geodiversidad de Andalucía. Están presentes materiales cuya formación se remonta desde el Precámbrico (hace más de 542 millones de años) hasta la actualidad, materiales que incluyen rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, con gran abundancia y variedad de registros fósiles, correspondientes a innumerables géneros y especies de organismos que han existido y desaparecido a lo largo de la historia geológica. Todo este conjunto ha sufrido numerosos procesos que han provocado su deformación y fracturación, dando lugar a relieves que a su vez se sometían a la acción de los agentes erosivos. La compleja orografía y litología andaluza es, por tanto, resultado de la convergencia de numerosos procesos (mineralógicos, petrológicos, estratigráficos, sedimentarios, tectónicos, morfodinámicos, etc.), cuyo testimonio se expresa hoy en forma de paisajes.

### 3.1. El Macizo Ibérico

Sierra Morena es la unidad morfológica y geológica más septentrional de Andalucía, con una altitud media de 600 m y cotas máximas de 1300 m. Establece el límite de Andalucía con la Meseta castellana y el borde de esta con el Valle del Guadalquivir, conformando un paisaje articulado por series de alineaciones montañosas de relieve acolinado, cuyas formas están atemperadas por el efecto de la erosión a lo largo de millones de años. Define el territorio por excelencia de las dehesas ganaderas extensivas, las cuales, se alternan con pastizales, zonas forestales de repoblación y olivares serranos, atendiendo a una lógica distribución racional dependiente de la productividad de los suelos y de los condicionantes físicos del terreno frente a su aprovechamiento.

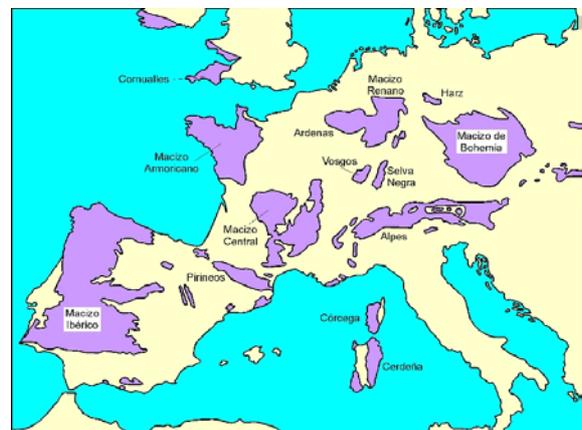
El **Macizo Ibérico** constituye el relieve de origen estructural más antiguo de la Península Ibérica. Su génesis se produce durante el Orógeno Varisco, cuyo momento álgido se localiza en el Carbonífero, hace unos 300 millones de años. Desde entonces, ha permanecido relativamente estable a lo largo de cientos de millones de años. En consecuencia, su superficie ha sido erosionada, arrasada y modelada por la acción erosiva, que terminó por rebajar notablemente sus alturas iniciales, aprovechando para ello los materiales más deleznable (blandos y fácilmente erosionables) y las líneas de debilidad estructural, donde se instalaban cabeceras fluviales con gran capacidad energética. Por su condición de borde del Macizo Ibérico recoge también materiales depositados en antiguos márgenes continentales.

Litológicamente, está constituido por rocas graníticas y volcánicas antiguas y, también, por rocas afectadas por procesos metamórficos, sobre todo pizarras y cuarcitas, y en menor medida calizas. Se trata de materiales, en general, poco aptos para la formación de suelos, normalmente muy pobres, esqueléticos y con fuertes limitaciones relacionadas con su pedregosidad y elevada acidez. Son mayoritarios los materiales impermeables, que imponen el desarrollo de sistemas de drenaje de elevada densidad, articulados a través de barrancos y valles de cabecera. Pese a la pobreza de sus suelos, un subsuelo muy rico en yacimientos minerales (cobre, pirita, plomo, carbón, etc.) fue la base y la justificación de las primeras colonizaciones humanas de la región.

#### Síntesis geológica del Macizo Ibérico

La mayor parte del basamento pre-Mesozoico de Europa occidental está formado por rocas de edades comprendidas entre el Proterozoico y el Carbonífero, deformadas y metamorfizadas, aunque con diversos grados de intensidad, e intruidas por diversos tipos de rocas plutónicas antes del Pérmico, durante la Orogenia Varisca.

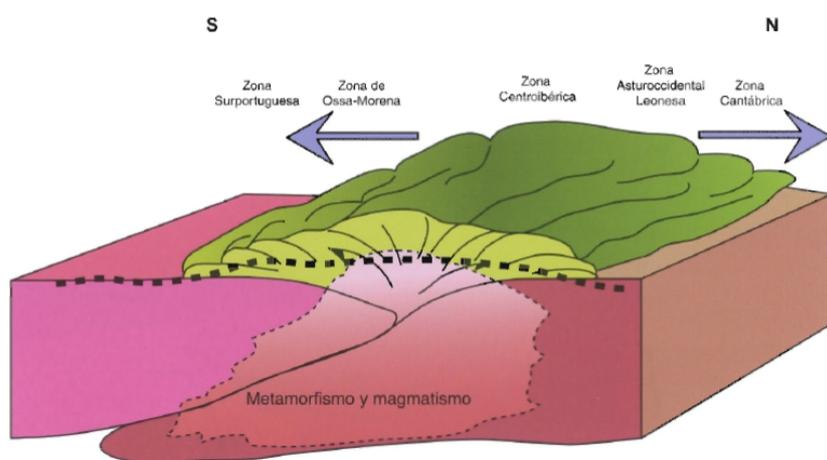
*Afloramientos de rocas de la Cordillera Varisca en Europa (macizos). Tomada de Chauvel, J.J. y Robardet, M. (1976): Massif Armoricain. Géologie des pays européens (France, Belgique, Luxembourg). Dunod, 125-178. Redibujada por F. Bastida.*



El Orógeno Varisco Europeo es una gran cordillera que se formó al final del Paleozoico como resultado de la convergencia y colisión de dos grandes continentes, Laurussia y Gondwana, tras el cierre de algunas cuencas oceánicas entre las que existían algunas masas continentales de menor tamaño (Avalonia y Armórica). Este gran orógeno, que se extiende por todo el SO de Europa, desde la Península Ibérica hasta el N de Bohemia, tiene una longitud de 3000 km y una anchura entre 700 y 900 km. Forma parte de una cadena de cordilleras que colaboraron en la génesis del supercontinente Pangea y que incluye a los Urales, las cadenas variscas del Norte de África y las Mauritánides, los Guachitas y el Sur de los Apalaches. Los afloramientos europeos se denominan generalmente macizos y pueden verse en la siguiente figura adjunta.

El Macizo Ibérico es la sección más completa de este gran Orógeno Varisco Europeo. Aflora en la Península Ibérica configurando una gran unidad geológica constituida por rocas del Proterozoico al Carbonífero, localizadas en la mitad occidental de la Península. Contiene el mayor registro conocido de los efectos del Orógeno Varisco, tanto en lo que se refiere a la tectónica, como a metamorfismo, a magmatismo y a la sedimentación posterior a la orogenia.

El modelo estructural del macizo se resume en los siguientes términos. El Orógeno Varisco es producto de una colisión, lo que determina la presencia de una cobertera sedimentaria replegada y volcada hacia direcciones opuestas a partir de la zona axial o zona de sutura, en la que se producen intrusiones magmáticas y un metamorfismo intenso. La erosión posterior del relieve (línea gruesa discontinua) deja al descubierto esta zona “caliente” del orógeno (ver esquema gráfico adjunto).

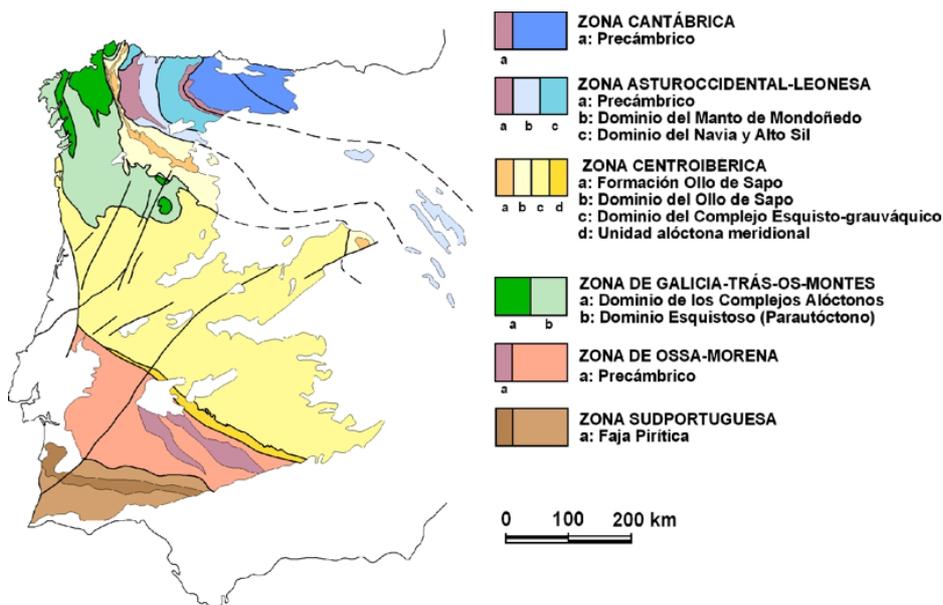


De forma simplificada se puede aplicar este modelo para la clasificación de dominios internos dentro del Macizo Ibérico. Las Zonas Cantábrica y Asturoccidental Leonesa representan el flanco norte del Orógeno Varisco y las Zonas de Ossa-Morena y Sudportuguesa el flanco sur. La zona Centroibérica se corresponde con la zona axial del orógeno. La realidad es bastante más compleja, por ejemplo la zona Sudportuguesa, es en realidad un fragmento de la placa de

Avalonia y entre ésta y su vecina Ossa-Morena existe otra sutura significativa. En Andalucía aflora la parte más meridional de este macizo, el cual se extiende, por el norte, hasta las costas gallegas y asturianas.

En el territorio andaluz, el Macizo Ibérico aflora al norte del Guadalquivir y forma las alineaciones montañosas de Sierra Morena. Están modeladas, en conjunto, por rocas metamórficas (pizarras, cuarcitas, etc.) y plutónicas (granitos y rocas afines) con edades que abarcan desde el Precámbrico hasta finales del Paleozoico. La alineación estructural dominante es NW-SE, pudiendo discriminarse, dentro de los límites de la Comunidad Autónoma, tres unidades o subzonas:

- Zona Centroibérica.
- Zona de Ossa-Morena.
- Zona Sudportuguesa.
- 



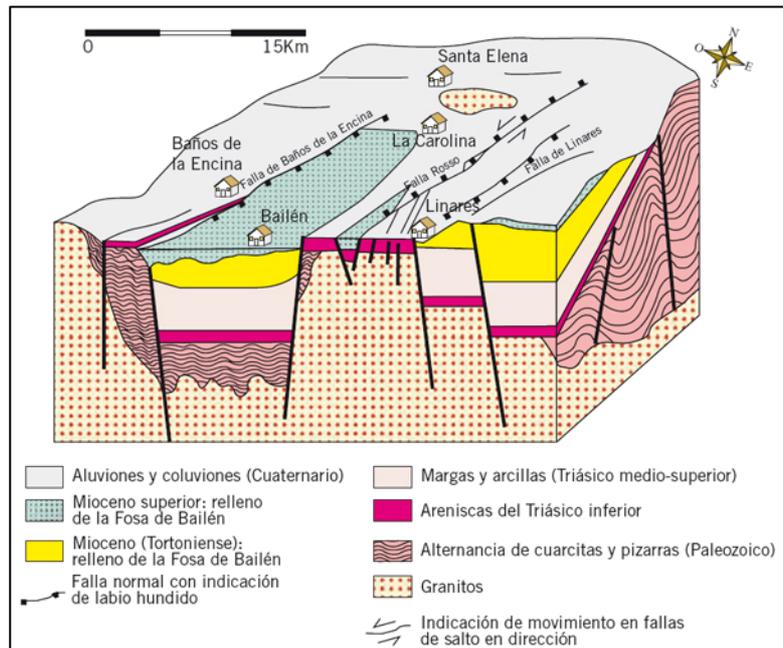
Esquema simplificado de las zonas y materiales que comprende el Macizo Ibérico. Tomada de Vera et al. (2004): Geología de España.

**ZONA CENTRO-IBÉRICA.** Es la parte más oriental del Macizo Ibérico dentro de Andalucía, la cual ocupa el norte de la provincia de Jaén y parte del norte de la de Córdoba. Esta zona representa, a grandes rasgos, la parte central o axial del Orógeno Varisco. En ella el metamorfismo ha sido muy intenso y las intrusiones graníticas abundantes. Afloran materiales del Paleozoico, sobre todo pizarras y cuarcitas, entre ellas la "cuarcita armoricana", fácilmente reconocible y procedente del metamorfismo de las arenas que se depositaron en la plataforma continental de Gondwana durante el Ordovícico Inferior. La Cuarcita Armoricana es una roca extraordinariamente tenaz, y su resistencia a la erosión la hace destacar sobre el paisaje formando crestas y formas singulares (Despeñaperros, La Cimbarra, etc.).

En distintas áreas aparecen granitos cuya intrusión se produjo en zonas de distensión local hacia el final del Orógeno Varisco. Destaca un amplio plutón granítico, el Batolito de los Pedroches, con una longitud de 250 km, una anchura variable de 8 a 30 km y con numerosas intrusiones de edad Carbonífera. Otras formaciones similares aparecen en la provincia de Jaén, como por ejemplo en el Valle del Jándula, al norte de Andújar.

Dentro de la Zona Centroibérica se producen también, asociadas a los procesos del Orógeno Varisco, importantes mineralizaciones filonianas que han sustentado a lo largo de la historia un intenso aprovechamiento extractivo. Este es el caso del Distrito Minero Linares - La Carolina, en la provincia de Jaén, que constituyó la mayor explotación mundial de plomo desde 1880 hasta la década de los setenta del siglo pasado. En la comarca se beneficiaban filones hidrotermales que encajaban en los materiales paleozoicos del Macizo Ibérico (granitos, cuarcitas, esquistos, etc.).

*Campo Filoniano de Linares-La Carolina. Mirete Mayo, S. y Gumiel Martínez, P., 1999.*

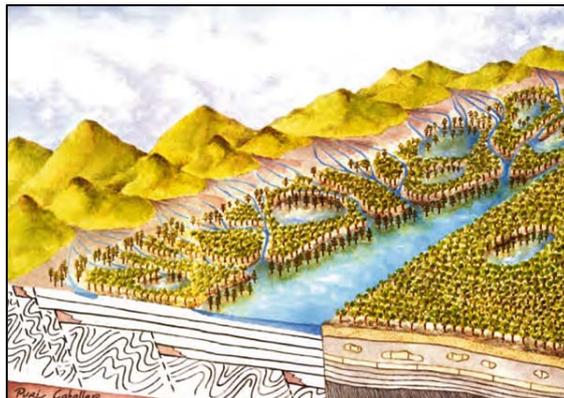


**ZONA DE OSSA-MORENA.** Es la zona central del Macizo Ibérico en Andalucía y ocupa las sierras del norte de buena parte de las provincias de Córdoba y Sevilla. Presenta una notable diversidad en lo referente a materiales, lo que ha llevado a numerosos autores a diferenciar unidades de rango menor o sub-dominios en función de los tipos litológicos que afloran, en especial, en relación al tipo de rocas ígneas asociadas y al grado de deformación local. Estas subzonas o subdominios se alargan paralelamente a la alineación estructural dominante del Orógeno Varisco o Herciniano (NW-SE). La secuencia cronológica de materiales se resume en los siguientes términos:

- El Precámbrico está constituido por tres complejos separados por discordancias. El inferior está formado por gneis, anfibolitas y esquistos, el intermedio por esquistos y cuarcitas y el superior por rocas volcanosedimentarias con metamorfismo muy bajo.
- El Cámbrico inferior comienza con arenitas y lutitas a las que siguen una formación carbonatada (Fm. Pedroches) con estromatolitos en la base y Archeociátidos y Trilobites en el techo.
- El resto del Cámbrico, el Ordovícico y el Silúrico se presentan con facies detríticas (pizarras y cuarcitas) con faunas marinas.
- El Devónico falta en amplios sectores y cuando está presente muestra facies propias de medios marinos someros ("facies renanas").

- El Carbonífero aflora en bandas alargadas paralelas a las alineaciones estructurales (NW-SE), una de ellas al SE del batolito de los Pedroches y la otra en Bélmez-Peñarroya, y es generalmente discordante sobre los materiales anteriores de edades diversas. Se diferencian tres conjuntos muy diferentes:

- El inferior de *facies Culm* (lutitas y areniscas turbidíticas) cuya edad es Carbonífero inferior.
- El medio constituido por pizarras, areniscas y conglomerados con capas de carbón que se explotan comercialmente en la cuenca carbonífera de Peñarroya-Bélmez (Cuenca carbonífera del Guadiato y Valdeinfierno), cuya edad es Viseense superior, Dinantiense y Westfaliense.



Reconstrucción idealizada del ambiente lacustre de la cuenca del Guadiato durante el Carbonífero. También se ilustran las unidades geológicas en su sección vertical. Wagner, 1999.

- El superior, corresponde con algunos pequeños afloramientos, muy aislados, de materiales claramente postorogénicos, discordantes sobre los de edades anteriores y datados como Estefaniense.

**ZONA SUDPORTUGUESA.** Se extiende a lo largo de las áreas más occidentales de las provincias de Sevilla y Huelva, quedando delimitadas, en parte, por las ofiolitas de la Sierra de Arcena, que perfilan la frontera entre la Zona de Ossa-Morena y la Zona Sudportuguesa.

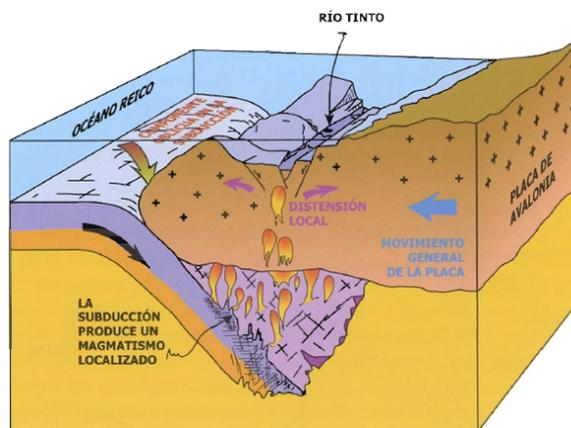
Tiene una estructura compleja, y afloran en Andalucía dos de los tres dominios con características litológicas, estructurales y paleogeográficas distintas. Estos son, de norte a sur:

**Dominio septentrional o Pulo do Lobo,** situado al sur de las ofiolitas de Beja y Arcena. No debe considerarse parte de esta zona sino el límite entre la Zona sudportuguesa y Ossa-Morena.

**Dominio central o Faja Pirítica Ibérica.** Afloran rocas del Paleozoico superior (Devónico medio - Carbonífero superior), que reflejan los cambios que tuvieron lugar en la cuenca sudportuguesa antes, durante y después del Orógeno Varisco. El relleno de la cuenca devono-carbonífera de la Faja Pirítica está formado por distintas rocas que permiten diferenciar tres unidades litoestratigráficas, que de muro a techo son:

Pizarras y cuarcitas (Devónico medio-superior) depositadas antes del inicio del Orógeno Varisco en una plataforma somera durante el Devónico medio.

Complejo volcano-sedimentario (Devónico terminal-Carbonífero inferior). Representado por un armazón de pizarras con intercalación de rocas volcánicas y subvolcánicas. Estos materiales alojan la “Faja Pirítica Ibérica”, un conjunto de mineralizaciones con una producción metalogenética, considerada como la principal reserva mundial de sulfuros masivos polimetálicos. Incluye más de 80 depósitos, algunos de ellos de excepcional tamaño. Sus recursos, en especial los sulfuros piríticos, han sido objeto desde antiguo de una intensa explotación, masiva a partir del S. XIX, que ha constituido además de la base económica de la comarca, el principal elemento vertebrador en la forma de vida de sus pobladores.



Ascenso de magmas ligados a la subducción de la litosfera del Océano Reico. Meléndez Hevia, 2004.

Un conjunto superior (Carbonífero inferior) formados por lutitas y areniscas turbidíticas (*facies Culm*).

### 3.2. La Cordillera Bética

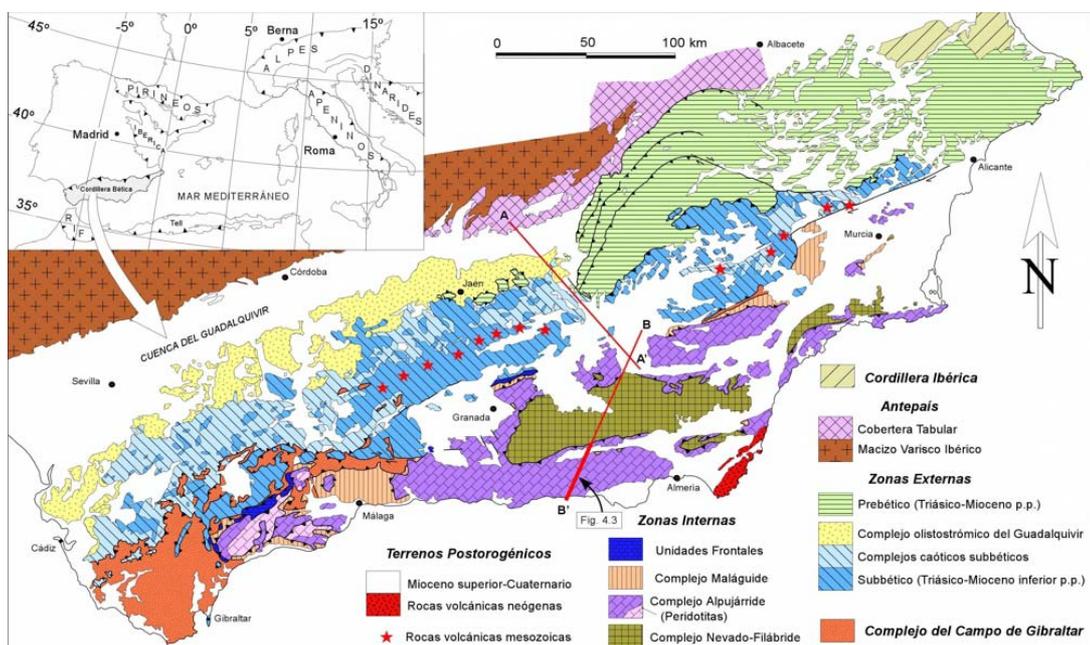
La Cordillera Bética configura los relieves más agrestes y escarpados de Andalucía. Es, cronológicamente, la segunda gran unidad geológica y geomorfológica de Andalucía. Está formada por un conjunto de sierras que son unidades estructurales muy jóvenes, emergidas en el contexto de la Orogenia Alpina y, más concretamente durante el Mioceno, hace sólo unos 20 millones de años. Ocupa más de la mitad de la superficie de Andalucía y concentra los relieves más altos de la Península Ibérica. Su juventud determina el desarrollo de formas del terreno agrestes y escarpadas, que aún no han podido ser atemperadas por la acción de los agentes erosivos. A grandes rasgos pueden diferenciarse, no obstante, dos grandes zonas con notables diferencias geomorfológicas:

- En el sector norte, en las **Zonas Externas** o Béticas Externas, la menor intensidad con que le afectó el plegamiento alpino y la mayor plasticidad y erosionabilidad de los materiales (calizas, margas y arcillas), dan como resultado un relieve algo más suave y fragmentado.
- Las Sierras del sector sur, **Zonas Internas** o Béticas Internas, actúan como un auténtico farallón, aislando la franja litoral mediterránea del resto de la región. En esta unidad predominan las calizas y los esquistos y filitas, siendo raras y escasas las rocas magmáticas.

En oposición a Sierra Morena, las Sierras Béticas están compuestas predominantemente de materiales permeables que facilitan la filtración en profundidad de las aguas y convierten a esta unidad en el principal almacén de aguas subterráneas de Andalucía. La explotación de recursos mineros se centra en la actualidad en la extracción de rocas y minerales industriales con destino a la construcción, tales como áridos, calizas mármoles ornamentales, yesos, etc., si bien a lo largo de los siglos XIX y primeras décadas del XX albergó algunos de los principales distritos mineros europeos de minerales metálicos, esencialmente plomo, plata, oro, etc.

#### Síntesis Geológica de la Cordillera Bética.

La Cordillera Bética, en el sur de España, y el Rif, al Norte de Marruecos, constituyen la terminación occidental del Orógeno Alpino Perimediterráneo, que se extiende desde Asia Menor hasta el Estrecho de Gibraltar. Esta gran cordillera alpina, cuyo levantamiento está ya iniciado en el Mioceno inferior, hace 25 millones de años, se extiende desde Cádiz, por el oeste, hasta Almería, por el este, prolongándose por Murcia, Valencia y Baleares. A la altura del Peñón de Gibraltar se inflexiona en un gigantesco arco reproduciendo una estructura más o menos simétrica y especular con el norte de África. En función de la edad de las rocas que afloran, del grado de deformación que les afecta, y de su origen paleogeográfico, se pueden diferenciar en la Cordillera Bética tres grandes zonas geológicas: Zonas Externas Béticas, Zonas Internas Béticas, Complejo del Campo de Gibraltar.

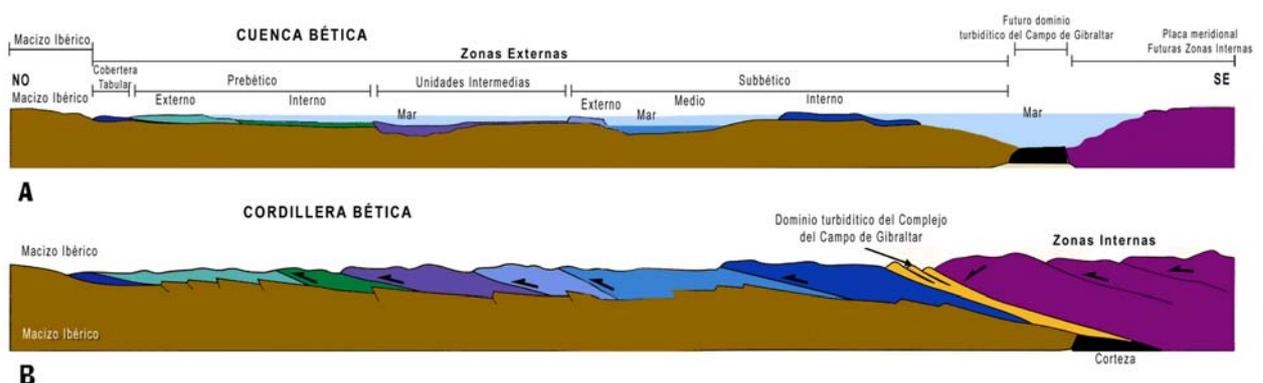


Mapa Geológico de la Cordillera Bética. Tomada de Vera et al. (2004): *Geología de España*.

**ZONAS EXTERNAS.** Son las más próximas al Macizo Ibérico. Corresponden a materiales mesozoicos y terciarios (hasta el Plioceno medio), depositados en un extenso mar ubicado al sur del Macizo Ibérico (Placa Ibérica emergida). Posteriormente, durante la Orogenia Alpina, se pliegan, fracturan y levantan hasta emerger. Las Zonas Externas se dividen, a su vez, en distintas unidades, más o menos coincidentes con diferentes dominios paleogeográficos. Desde la parte más próxima a la más alejada del continente (Macizo Ibérico) son la Cobertera Tabular, el Prebético, las Unidades Intermedias y el Subbético.

- **Cobertera Tabular.** Materiales triásicos continentales y costeros (arenas, arcillas, margas, yesos) y jurásicos marinos (calizas y dolomías) sin deformación.
- **Prebético.** Constituye el margen continental adyacente al antiguo continente, y se corresponde a grandes rasgos con los depósitos de la plataforma continental mesozoica, que afloran ampliamente en las sierras de Cazorla, Segura, Las Villas, El Pozo y Castril, y en menor escala, en algunos relieves próximos a Jaén, caracterizados por el dominio de las facies marinas someras. Son sedimentos marinos someros, litorales y continentales, mesozoicos y terciarios, con predominio de rocas carbonatadas y una característica estructura en escamas vergentes hacia el NNW, en dirección el antiguo continente ibérico. Diferencias en las secuencias litológicas del Jurásico y Cretácico inferior, reflejo de distintas situaciones paleogeográficas, hacen posible separar un **Prebético Externo**, de carácter más somero (Sierras de Cazorla, Las Villas y parte de la Sierra de Segura) y un **Prebético Interno**, con rocas formadas por lo general a mayores profundidades (Sierras de Segura, El Pozo y Castril).
- **Unidades Intermedias.** Tienen un carácter netamente más profundo, constituidas por un Jurásico calizo y un Cretácico margoso, con episodios turbidíticos (alternancia de calizas y margas), sedimentos típicos de zonas de talud continental. Cabalgan sobre el Prebético y son cabalgadas a su vez por el Subbético.
- **Subbético.** Localizado en la parte más meridional de las Zonas Externas, está constituido principalmente por sedimentos profundos, de carácter pelágico, es decir, lejanos a la costa, en la cuenca oceánica. Globalmente se pueden diferenciar tres grandes conjuntos litológicos: los materiales triásicos, mayoritariamente arcillas y arenas rojas y yesos (facies germánicas o Keuper); los grandes afloramientos jurásicos y cretácicos de calizas y margas, y los depósitos turbidíticos del Terciario. A igual que en el Prebético, se han establecido subdivisiones de acuerdo con las características de la secciones estratigráficas, en especial del Jurásico y Cretácico inferior, diferenciándose 4 unidades: Subbético Externo, Subbético Medio y Subbético Interno.

La estructura de las Zonas Externas es la de una cobertera plegada y desplazada hacia el NNW. Los límites de dominios paleogeográficos coinciden en gran parte con la posición de los frentes de cabalgamiento, de manera que las unidades geológicas que se pueden diferenciar hoy día coinciden con estos dominios. Los materiales que han sufrido menor desplazamiento son los más cercanos al antiguo continente (Prebético) en los que la deformación se limita a unas escamas, pliegues y fallas vergentes hacia el continente. Los materiales del Dominio Intermedio y los del Subbético cabalgan ampliamente hacia el NNW, superponiéndose tectónicamente a materiales de dominios más septentrionales.



Dominios paleogeográficos (A) y Unidades de la Cordillera Bética (B) · Simplificado de Vera 1988, *Mapa Geológico de Andalucía*.

**ZONAS INTERNAS.** Afloran en la parte más meridional de la Cordillera Bética y están constituidas por rocas metamórficas paleozoicas muy deformadas y rocas sedimentarias mesozoicas y cenozoicas, que formaron parte de un sector de la corteza terrestre (un fragmento de subplaca denominada Subplaca Mesomediterránea o de Alborán), que desde el este del Mediterráneo se desplazó en dirección oeste, hasta colisionar con las Placa Ibérica y Africana. Esta colisión fue la que provocó la emersión y apilamiento de las unidades de las Zonas Externas e Internas, las cuales configuraron la Cordillera Bética.

Se diferencian tres grandes complejos, Nevado-Filábride, Alpujárride y Maláguide, que constituyen tres conjuntos de mantos de corrimiento apilados, estando enumerados desde el tectónicamente más bajo al más alto. Los tres complejos son fragmentos del microcontinente que originariamente ocuparía posiciones más orientales (Subplaca Mesomediterránea o de Alborán).

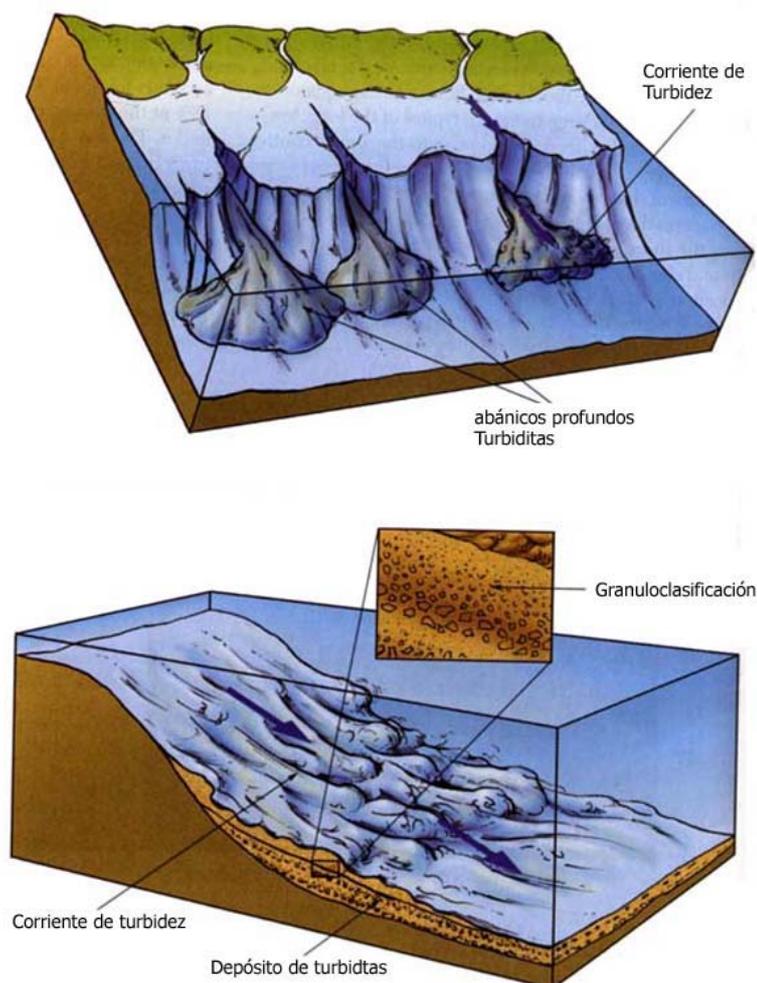
- **Complejo Nevado-Filábride.** Aflora extensamente en la gran antifirma de Sierra Nevada y su continuación hacia el este (sierra de Filabres, Baza, Alhamilla y Cabrera entre otras) y está constituido por rocas metamórficas muy antiguas y deformadas, con un basamento de esquistos y cuarcitas precámbricos y paleozoicos y una cobertera con esquistos y mármoles, junto a rocas derivadas de la transformación (metamorfismo) de rocas magmáticas, como granitos y basaltos, agrupadas en dos grandes mantos de corrimientos superpuestos: Veleta y Mulhacén. Litológicamente dominan los micaesquistos grafitosos y los micaesquistos feldespáticos y en segundo lugar los mármoles; más localmente afloran, también, anfibolitas y ortogneises. La edad de los materiales es muy difícil de estimar dada la ausencia general de registro fósil, aunque se cree muy probable que fuesen paleozoicos y triásicos, sin descartar la presencia de materiales precámbricos.
- **Complejo Alpujárride.** Es el que más ampliamente aflora de los tres. Está compuesto por un conjunto de mantos de corrimiento superpuestos, constituidos por materiales que presentan un metamorfismo alpino, bastante manifiesto en los términos inferiores y menos acentuado (incluso ausente) en los superiores. En las unidades alpujárrides se suelen diferenciar tres formaciones internas:
  - o Paleozoico, muy potente, formado por esquistos y micaesquistos,
  - o Pérmico-Triásico inferior, de un centenar de metros de espesor, constituido por filitas y cuarcitas.
  - o Triásico medio y superior, también muy potente, formado por calizas y dolomías. Hacia el oeste, en la Serranía de Ronda, uno de los mantos alpujárrides contiene un importante volumen de peridotitas y rocas ultrabásicas.
- **Complejo Maláguide.** Aflora extensamente al norte y oeste de la ciudad de Málaga y, de modo mucho más local, en las partes más septentrionales de las Zonas Internas, junto al contacto con las Externas. Al contrario que en los dos complejos anteriores, el Complejo Maláguide presenta, aunque solo muy localmente, términos del Jurásico, Cretácico y Terciario con fósiles. Puede discriminarse en tres series bien diferenciadas:
  - o Ordovícico-Carbonífero. Son los afloramientos más extensos, en los que se diferencian: una unidad basal de filitas y areniscas (Ordovícico?-Silúrico), una intermedia de calizas y grauvacas (Silúrico-Devónico) y una superior de grauvacas, lutitas y conglomerados (Carbonífero).
  - o Pérmico-Triásico. Son discordantes sobre los anteriores y presentan facies detríticas rojas, con niveles de arcillas y de carbonatos.
  - o Jurásico-Oligoceno. Los materiales más modernos afloran muy localmente y son calizos (Jurásico-Cretácico inferior), calizo-margosos (Cretácico superior), de calizas y conglomerados (Eoceno) y de margas y lutitas (Oligoceno).

**COMPLEJO DE LOS FLYSCHS DEL CAMPO DE GIBRALTAR.** Corresponde con una serie de materiales turbidíticos, depositados durante el Cretácico y el Terciario en una cuenca marina profunda localizada en una posición intermedia entre las Zonas Externas y las Zonas Internas. Toman su nombre por el hecho de aflorar extensamente en la mitad meridional de la provincia de Cádiz, aunque se prolongan hacia el este con afloramientos progresivamente más reducidos, localizados entre las Zonas Internas y las Zonas Externas.

Hace referencia a materiales del Cretácico, Paleógeno y, especialmente, del Mioceno inferior. Corresponden a los depósitos de los surcos profundos localizados entre el margen sudibérico y la Subplaca Mesomediterránea y entre esta última y el margen continental norteafricano, en el denominado surco de los "flyschs" norteafricanos.

Litológicamente destacan las margas con intercalaciones de turbiditas (calcáreas y terrígenas) con un máximo desarrollo de los depósitos de turbiditas terrígenas en el Mioceno inferior, donde se tienen los mayores espesores. Estos materiales fueron desenraizados durante la etapa de colisión continental, de manera que fueron expulsados de su posición originaria, desplazándose hacia el oeste solidariamente con la Subplaca Mesomediterránea o de Alborán.

Sus facies más representativas constituyen, por ejemplo, el armazón litológico de las Sierras del Aljibe y el Parque Natural de Los Alcornocales (Areniscas del Aljibe), donde la configuración del relieve presenta una relación directa con los materiales y su disposición. Potentes bancos de areniscas silíceas vertebran sierras, farallones y cresterías rocosas, intercaladas por valles modelados sobre afloramientos de materiales más blandos y deleznales, fundamentalmente arcillas y margas.



*Formación de turbiditas. Thurman, H.V. (1997).*

### 3.3. Depresiones Neógenas

La tercera gran unidad morfológica de Andalucía es la **Depresión del Guadalquivir**, una gran llanura que rodea el valle del Guadalquivir y que se sitúa entre las dos unidades anteriores, con una altitud media de 300 m. Si bien el Guadalquivir constituye el ámbito por excelencia de las Depresiones Neógenas andaluzas, bajo este epígrafe se incluyen también las cuencas intramontañas colmatadas durante la fase de ascenso de la Cordillera Bética, a partir del Mioceno, la cual fue dejando numerosas depresiones circundadas por los frentes montañosos recién emergidos.

La Depresión del Guadalquivir es el espacio por antonomasia de sedimentación de materiales desde el Terciario hasta la actualidad, momento en el que comienza el relleno progresivo del antiguo brazo de mar que quedó entre el Macizo Ibérico (Sierra Morena) y la Cordillera Bética. Este proceso, que aún sigue su curso, encuentra como máximo exponente la colmatación natural de los estuarios atlánticos andaluces, testigos de la influencia marina en estos ámbitos.

En relación a las formas del relieve pueden diferenciarse, dentro de la Depresión del Guadalquivir, dos unidades morfológicas. En las campiñas que rodean el valle predomina un relieve suave y alomado, que responde a la acción directa de las aguas superficiales sobre materiales blandos y deleznable (margas, calizas y arcillas). En la llanura aluvial propiamente dicha son hegemónicas las formas horizontales, con predominio de las arenas, limos, arcillas y gravas de origen fluvial.

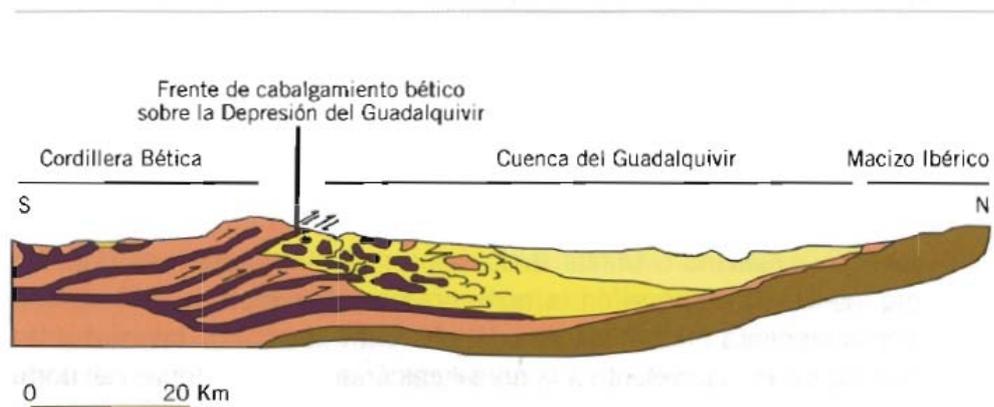
#### Síntesis Geológica de las Depresiones Neógenas

La colisión de las Zonas Internas (Subplaca Mesomediterránea o de Alborán) con la Placa Ibérica inició la lenta emersión de la Cordillera Bética, plegando los sedimentos del fondo del mar. Esta emersión fue solo parcial con respecto a la configuración actual de tierras emergidas. Las áreas más deprimidas quedaron sumergidas bajo el mar, formando cuencas en las que continuó el proceso de sedimentación. Estas son las depresiones neógenas, hoy también emergidas. Ambos términos, cuencas y depresiones, se pueden considerar, en este caso, como sinónimos.

Los materiales que constituyen el relleno sedimentario de estas cuencas son del Mioceno superior y del Plioceno, continuando en algunas durante el Pleistoceno y el Cuaternario. Los sedimentos que las rellenan, se mantienen en la actualidad subhorizontales indicando la ausencia de deformaciones compresivas significativas después de su deposición. Las dos cuencas más extensas son las localizadas al norte y al sur de la Cordillera Bética: **Cuenca del Guadalquivir** y la **Cuenca de Alborán**. Además de estas dos grandes cuencas existen otras muchas de menor extensión (Ronda, Granada, Guadix-Baza, Almería, Murcia-Alicante, etc.), denominadas genéricamente como **Cuencas Intramontañas**.

**CUENCA DEL GUADALQUIVIR.** Tiene una forma triangular, abierta hacia el Golfo de Cádiz, por la que fluye actualmente el río Guadalquivir, del que toma su nombre. Es semejante a otras cuencas sedimentarias postorogénicas localizadas en los bordes de otras cordilleras alpinas, que se denominan con el nombre genérico de **cuenca de antepaís**.

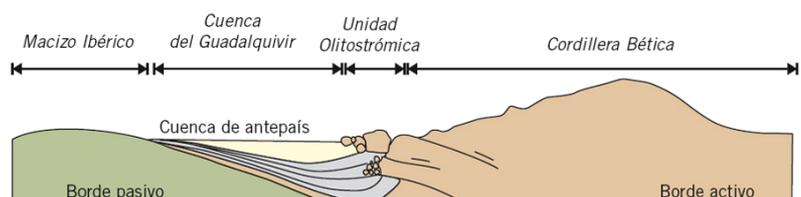
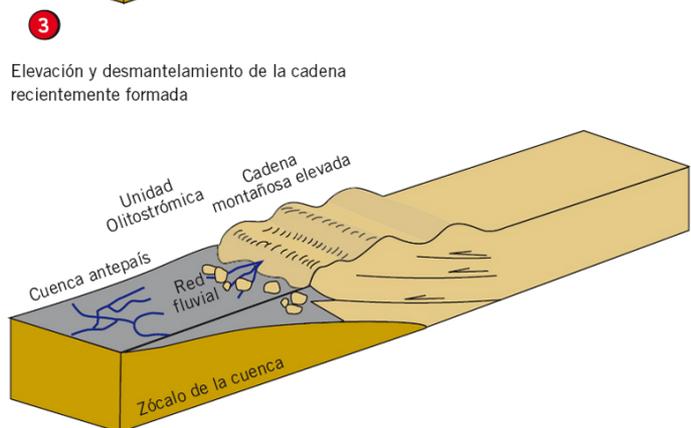
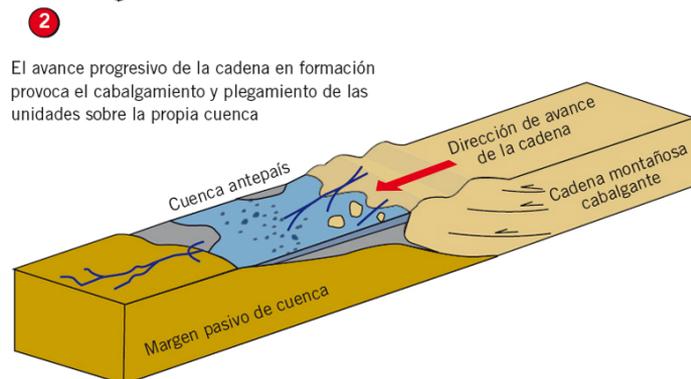
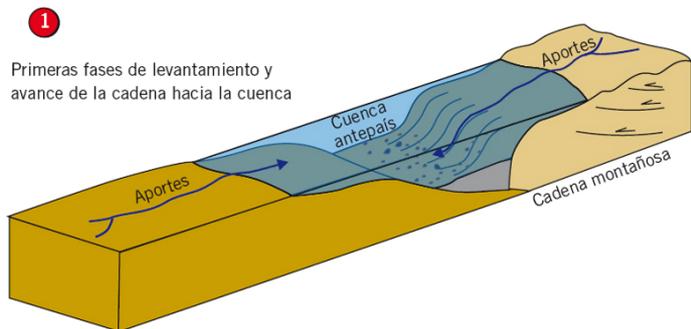
CORTE SIMPLIFICADO DE LA DEPRESIÓN DEL GUADALQUIVIR  
 (Tomado de A. Estevez y J. Soria, 1992)



Comprende importantes sectores de las provincias de Jaén, Córdoba, Granada, Sevilla, Huelva y Cádiz. Está caracterizada por una morfología triangular que sigue el eje del río, en dirección ENE-OSO, descendiendo progresivamente unos 800 m, desde el flanco oriental hasta su desembocadura, a través de un relieve llano o suavemente ondulado.

La Cuenca del Guadalquivir es claramente asimétrica en relación a los materiales que la componen. Al norte del río afloran unidades litológicas autóctonas, es decir, materiales de origen mixto procedentes de la erosión y posterior deposición del Macizo Ibérico o de la sedimentación propia en el antiguo brazo marino, pero que no se han visto sometidos a desplazamientos tras su deposición. En la vertiente meridional, por el contrario, el empuje derivado del choque de placas ha provocado el volcado masivo de bloques procedentes de la Cordillera Bética, hecho que determina la presencia, junto a materiales autóctonos, de materiales alóctonos y para autóctonos, mesozoicos y cenozoicos, muy desarticulados y dispuestos caóticamente (unidades olistostrómicas).

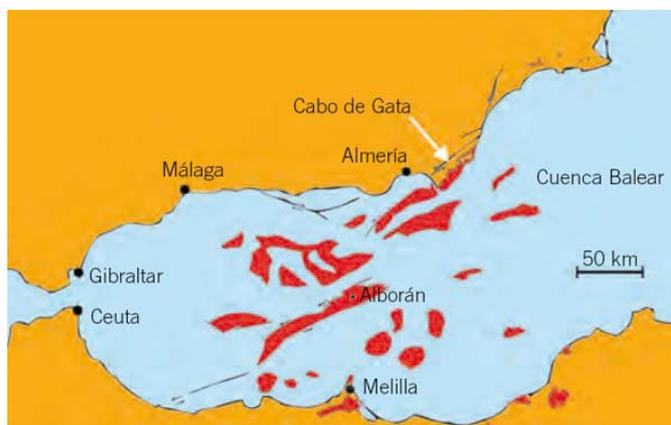
El relleno sedimentario de la Cuenca del Guadalquivir abarca desde el Mioceno superior al Plioceno y está dominado por las facies marinas y neríticas. Los depósitos dominantes son calcarenitas bioclásticas depositadas en medios marinos someros, que cambian hacia el oeste a margas y lutitas depositadas en medios marinos más profundos. El dispositivo general de las unidades sedimentarias indica que a la vez que ocurría el depósito, el mar se iba retirando hasta su posición actual en el Golfo de Cádiz. De esta manera, en el extremo más oriental de la cuenca los sedimentos son más antiguos, mientras que en el extremo más occidental (cerca del Golfo de Cádiz) están representados todos los términos del Mioceno superior y el Plioceno.



*Evolución y esquema simplificado de una cuenca de antepaís tipo Cuenca del Guadalquivir. Simplificado de Vera, 1994*

**CUENCA DE ALBORÁN.** Se trata de una cuenca sumergida formada por depósitos del Mioceno superior, Plioceno y Cuaternario, con espesores que en amplios sectores superan los 1000 m. Los sedimentos dominantes son arcillas o margas marinas, con intercalaciones de areniscas turbidíticas. La continuidad de la serie es interrumpida por la aparición de un paquete de evaporitas del Mioceno terminal (Messiniense), interpretado como la expresión sedimentaria de eventos de desecación temporal del Mediterráneo (Crisis de salinidad del Messiniense), relacionados con la desconexión hidrológica entre este mar y el océano Atlántico.

El Complejo Volcánico de Cabo de Gata representa una porción emergida del área magmática que se extiende por el fondo del Mar de Alborán. Las Sierras de Gata y la Serrezuela se forman en el Mioceno cuando el magma afloró a superficie originando edificios volcánicos, submarinos en su mayor parte, a favor de accidentes tectónicos relacionados con la formación de la Cordillera Bética. Estos fenómenos de vulcanismo submarino, dan lugar también a la emersión de la Isla de Alborán.

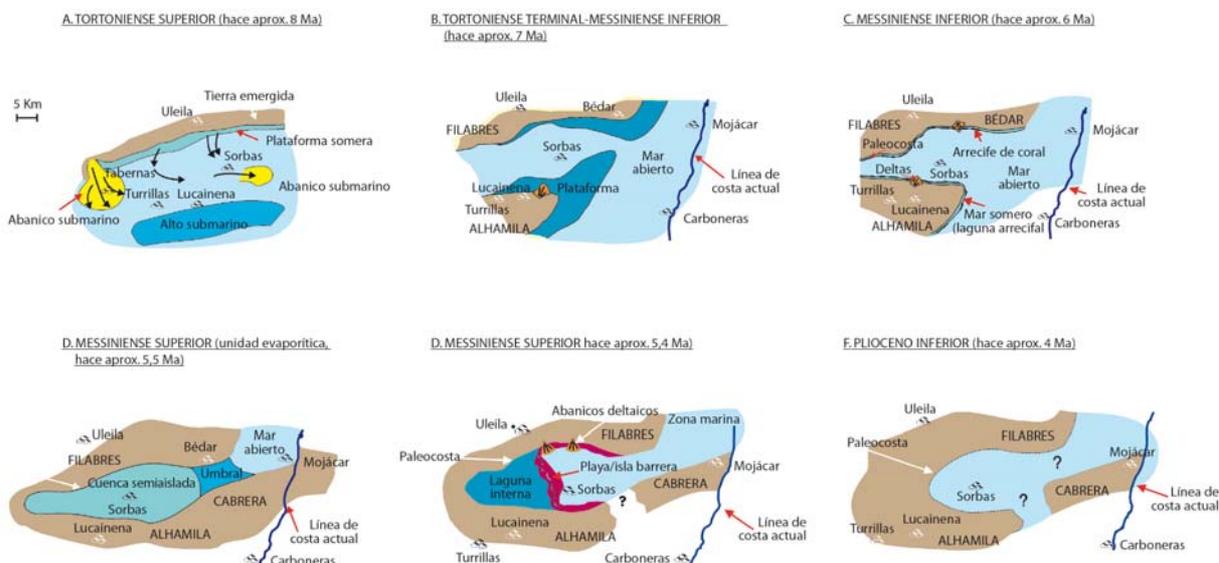


**Rocas volcánicas aflorantes o sub-aflorantes**

*Rocas volcánicas aflorantes o sub-aflorantes actualmente en el Mar de Alborán. Comas, 1996.*

**CUENCAS INTRAMONTAÑOSAS.** En líneas generales, la sedimentación de todas ellas se inicia en medios marinos someros (conglomerados, calcarenitas y margas), salvo en las cuencas localizadas en el seno del Prebético, donde los materiales predominantes son de origen continental. Hacia el final del Mioceno se establece una diferencia neta entre las cuencas que están cercanas al Mediterráneo, donde la sedimentación continúa siendo marina, de aquellas otras localizadas lejos del mar, donde la retirada de las aguas propicia la aparición de facies continentales, principalmente fluviales y lacustres, localmente con grandes espesores. Entre esta últimas merece destacarse la Cuenca de Guadix-Baza en la que la sedimentación continental continuó durante gran parte del Pleistoceno, produciendo un registro bioestratigráfico con más de cien yacimientos de grandes vertebrados y de roedores. En este sector los datos magnetoestratigráficos disponibles y las dataciones absolutas realizadas, permiten además establecer una escala biocronoestratigráfica precisa.

En las cuencas intramontañosas de la provincia de Almería, donde se mantuvo más tiempo la influencia marina del Mediterráneo, son también reconocibles los episodios de desecación messinienses, los cuales favorecieron el desarrollo de importantes paquetes de yeso (Cuenca de Sorbas).



*Evolución paleogeográfica de la Cuenca de Sorbas. J.C. Braga y J.M. Martín, 2003.*

## 4. Las distintas diversidades geológicas de Andalucía

En conjunto, todas las definiciones de Geodiversidad establecen su base en la variedad de elementos y procesos geológicos que se dan en un determinado territorio. Tal y como se adelantó en el capítulo introductorio, la presente Estrategia entiende **Geodiversidad** como: la “diversidad de rasgos y procesos geológicos (rocas, minerales y fósiles), geomorfológicos (paisajes, formas del terreno y procesos físicos), edáficos e hidrológicos, incluyendo sus relaciones, propiedades y sistemas de un determinado territorio”. Hoy puede considerarse que la Geodiversidad es ya un concepto aceptado y asumido a nivel global, reconociéndose también que su conservación es determinante para el equilibrio natural y la preservación de los paisajes. En esta misma línea, puede afirmarse que la **Geoconservación** es también una realidad.

Hasta la fecha, y aunque son muy escasos los estudios específicos de Geodiversidad llevados a cabo en Andalucía, y en España en general, es internacionalmente reconocida la extraordinaria Geodiversidad de Andalucía, puesta de manifiesto en el elevado número de contextos geológicos españoles de relevancia mundial y de puntos de interés geológico, así como en la cantidad y valor de los georrecursos culturales inventariados en el IAG.

### 4.1. Diversidad tectónica y estructural

Andalucía no es un territorio homogéneo, es más bien un "collage" hecho con trozos de litosfera traídos de distintos lugares. Hace 500 millones de años había lugares que sencillamente no existían, porque se formaron más tarde como prismas de acreción sedimentaria primero y de acreción tectónica después. También hay zonas que después de formar parte del territorio andaluz, se dieron por perdidas durante cientos de millones de años, pero que acabaron uniéndose a su suelo natal. O trozos enormes que nunca pertenecieron a nuestro entorno próximo, como las Zonas Internas de la Cordillera Bética, y que hace unos pocos millones de años vinieron a incrustarse contra nuestra litosfera y quedaron formando la zona suroriental de Andalucía.

En definitiva, Andalucía es el resultado de colisiones fortuitas, roturas, separaciones y reencuentros. Su morfología actual y sus rasgos geográficos son fruto pues, de un conjunto de cambios paleogeográficos acaecidos desde el Precámbrico hasta nuestros días.

El territorio andaluz tiene en sus rocas la impronta de tres orogenias, si bien de la más antigua apenas se conservan restos. Su historia comienza hace unos 600 millones de años, cuando comienza a romperse el gran supercontinente de Rodinia, predecesor de Pangea.

**Orogenia Cadomiense.** Los únicos materiales claramente anteriores al Paleozoico (más de 570 Ma) que afloran en Andalucía son los de los núcleos antiformes de la Zona de Ossa-Morena, y su edad es Proterozoico superior. Su sedimentación tuvo lugar en un medio marino inestable con substrato de corteza continental (el margen continental de Gondwana), donde se acumulaban sedimentos turbidíticos y formaciones olistostrómicas sincrónicas, con una importante actividad magmática (plutónica y volcánica) de carácter calcoalcalino. Estos materiales se plegaron antes del inicio del Cámbrico durante la Orogenia Cadomiense y simultáneamente se produjo el metamorfismo de los materiales e intrusiones de granitoides.

La intensidad y la duración de la Orogenia Cadomiense en el sudoeste de Iberia han sido temas controvertidos. Del análisis de los datos estratigráficos se deduce que la Orogenia Cadomiense se habría desarrollado exclusivamente en el Proterozoico terminal, siendo el Cámbrico inferior un período de transición entre el ciclo orogénico Cadomiense y el Varisco.

**Orogenia Varisca.** La tectónica de placas, que produce la deriva de los continentes, reunió de nuevo todas las masas continentales en una única a finales del Paleozoico, la Pangea. Durante el Carbonífero inferior la Placa Armoricana, en la que se encuentra gran parte de nuestro territorio, está próxima a colisionar contra Laurussia, a la que se acerca desde el sureste, seguida de cerca por Gondwana.

Los importantes depósitos de turbiditas, precursores de la Orogenia Varisca, son más antiguos en la Zona de Ossa Morena donde se iniciaron en el Carbonífero inferior, y más tardíos en la Zona Sudportuguesa, en la que se iniciaron a lo largo del Carbonífero superior.

Las distintas fases de la Orogenia Varisca someten a todos los sedimentos depositados desde el inicio del Paleozoico en las plataformas continentales de estos continentes, a fuertes transformaciones (metamorfismo) y deformaciones (pliegues y fracturas). La colisión fue bastante violenta y la Placa

Armoricana fue intensamente deformada al encajarse en los entrantes y salientes que presentaba el continente de Laurussia, con formación de zonas de cizalla que afectaron a la toda litosfera y que aún hoy conservan algo de movimiento, Las rocas resultantes fueron atravesadas por magmas, ricos en elementos metálicos, que al intruir a favor de las principales fracturas, generaron importantes mineralizaciones. La fase principal de la Orogenia Varisca conllevó la emersión generalizada del Macizo Ibérico, que aflora en la actualidad en Andalucía constituyendo Sierra Morena. Esta fase de deformación principal estuvo precedida por al menos otras dos. Simultáneamente a esta fase principal ocurrieron importantes intrusiones de granitos, entre ellos los del batolito de los Pedroches.

**Orogenia Alpina.** Durante el Mesozoico y el Cenozoico, la Pangea, el gran supercontinente formado en la Orogenia Varisca, se rompe y sus diversos trozos comenzaron a derivar. Andalucía estaba formada por el Macizo Ibérico, en cuyo margen continental, el margen continental Subibérico, se depositaron rocas sedimentarias. Las condiciones tectónicas que rodean a Iberia durante esta época son algo complejas: Iberia ha quedado situada entre la Placa Euroasiática al norte y la Africana al sur, por el oeste, se separa de América tras abrirse el océano Atlántico, por el norte, se separa de Francia debido a la apertura del Golfo de Vizcaya, y por el este la Microplaca Mesomediterránea (futuras Zonas Internas de la Cordillera Bética) viene derivando hasta chocar finalmente con Andalucía, que estaba constituida entonces por Sierra Morena y los depósitos de su margen continental (Zonas Externas de la Cordillera Bética).

Las fallas producidas durante la Orogenia Varisca y en la distensión pérmica (durante la rotura de Pangea), que desde esa época había dirigido los movimientos de los bloques del margen continental, son las que acusan los efectos compresivos de la Orogenia Alpina, debido al impacto oblicuo de las Zonas Internas sobre las Zonas Externas. Este hecho es el que produce finalmente el levantamiento de la Cordillera Bética durante el Mioceno, proceso que aún no ha terminado y que es el causante de los grandes relieves actuales de Andalucía.

Después de la compresión producida por la Orogenia Alpina, toda Europa y en particular la Península Ibérica quedaron sometidas a una etapa distensiva que motivó la formación de un conjunto de fosas tipo “rift” que se extienden desde el Rhin, en Alemania, hasta el Mediterráneo occidental, en algunos casos con volcanismo basáltico asociado. Estas zonas deprimidas o cuencas terciarias se localizan alrededor y dentro de los orógenos alpinos, caracterizando gran parte del relieve emergido andaluz. Son las denominadas Cuencas Intramontañosas.

Todos estos procesos orogénicos, así como la deriva de las placas tectónicas en general, han generado en Andalucía una **riqueza de estructuras tectónicas**, fallas, pliegues, etc., que constituyen un importante legado geológico, y que son la base topográfica sobre la que actúan los procesos geológicos modeladores del relieve. La importancia de estas estructuras en algunas zonas, han motivado la aparición de desniveles directamente relacionados con ellas, como los relieves en escamas, producidos por la repetición de fallas inversas de alto ángulo; los relieves invertidos, donde la erosión fluvial deja los núcleos de los sinclinales formando los relieves más altos en forma de navas, etc. Asociados a los grandes accidentes tectónicos (fallas normales, fallas inversas, cabalgamientos) aparecen rasgos de menor escala, como rocas de falla, estrías, planos de falla, facetas triangulares, etc.



*Prebético. Relieves alpinos. Foto: M.A. Martín.*

## 4.2. Diversidad sedimentológica y estratigráfica

Gran parte de las rocas que se localizan en Andalucía son sedimentarias y muchas de ellas conservan innumerables ejemplos de rasgos estratigráficos y sedimentológicos que nos hablan del origen y ambiente en el que se depositaron, de los medios en los que se formaron y de los procesos geológicos que ocurrían en ellos. En el registro sedimentario andaluz aparecen excelentes ejemplos de estructuras sedimentarias de diferentes escalas, cuyo estudio ha ayudado a caracterizar los distintos medios sedimentarios y ambientes paleogeográficos que han estado activos a lo largo del tiempo geológico.

Las **estructuras sedimentarias internas**, granuloclasificación, laminación o estratificación cruzada, paralela, etc., nos indican la disposición geométrica de los elementos que constituyen el sedimento, siendo muy útiles para averiguar el tipo de medio sedimentario y sus características durante el momento de su sedimentación. Las **estructuras sedimentarias sobre la superficie de los estratos** (muro y techo), ripples, grietas de desecación, huellas de gotas de lluvia o las marcas de corriente, son muy útiles como criterio de polaridad de los estratos. Las **estructuras sedimentarias de deformación**, estructuras de carga, estructuras almohadilladas, convolute lamination, slumps, etc. son indispensables para averiguar los procesos no tectónicos posteriores al depósito de los materiales, durante las primeras etapas de compactación. Por último, las **estructuras orgánicas** dejadas por los organismos vivos en los sedimentos, pistas fósiles, bioturbaciones, etc., proporcionan extraordinaria información sobre la actividad biológica de los seres vivos que han poblado la Tierra en 600 millones de años, tales como pistas fósiles o bioturbaciones.

Las estructuras sedimentarias, como las litologías, son esenciales para comprender los **medios sedimentarios** en los que se formaron buena parte de las rocas andaluzas. La complejidad de la historia geológica de Andalucía determina la existencia de un extenso registro, tanto en tiempo como en número de elementos, de este tipo de georrecursos, los cuales son, en muchos casos, de excepcional interés para la realización de reconstrucciones paleogeográficas.

En este sentido cabe reseñar que las plataformas continentales son el medio sedimentario más extensamente representado en Andalucía, pero con importantes diferencias en función de varios factores: los aportes detríticos desde el continente, la topografía de sus fondos, la cantidad de biomasa de sus aguas, etc.

Entre los diferentes medios sedimentarios (continentales, de transición y marinos) que aparecen en Andalucía se pueden reconocer claramente un buen número de ellos, entre los que destacan:

- Los medios continentales en sus diferentes formas: glaciario, periglaciario, eólico (costero y desértico), abanico aluvial, fluvial, lacustre, palustre y kárstico.
- Medios de transición. Lagoón, estuarios, deltaico, litoral.
- Medios marinos. Plataforma, arrecifal, talud, cuenca.

Estas características estratigráficas y sedimentológicas, muchas de ellas de excepcional calidad y continuidad, han sido la base para el establecimiento de las variaciones paleoambientales y paleogeográficas de extensas zonas de la geografía andaluza. Muestra de su valor es la inclusión de distintas series estratigráficas andaluzas en los Contextos Geológicos Españoles de relevancia mundial:

- Las **“Series Estratigráficas del Paleozoico inferior y medio del Macizo Ibérico”**, cuyo registro muestra la evolución y dinámica de los ecosistemas en una de las épocas más importantes para el desarrollo de los principales grupos morfológicos que han llegado hasta nuestros días.
- Las **“Series Mesozoicas de las Cordilleras Bética”**, cuyo registro mesozoico prebético y subbético, de gran calidad, continuidad y con abundantes restos fósiles, ha permitido establecer series estratigráficas muy detalladas, que son referencia mundial, mostrando los procesos geológicos y la evolución biológica durante el Mesozoico en el Paleomargen Sudibérico.
- Los **“Episodios evaporíticos messinienses”**, con un registro sedimentario que muestra la “crisis” ocurrida en el Mediterráneo hace 6-7 millones de años, descrita como uno de los episodios más dramáticos en los ecosistemas de los últimos 20 millones de años.
- Los **“Yacimientos de vertebrados del Plioceno y Pleistoceno español”**, cuya abundancia de restos fosilíferos y su buen estado de conservación los hace del máximo interés a nivel europeo y mundial. Su registro muestra la gran diversidad faunística de los últimos 2,5 millones de años, los cambios en los ecosistemas producidos por las glaciaciones, así como los restos de los primeros homínidos europeos.

### 4.3. Diversidad petrológica y mineralógica

La riqueza en rocas y minerales de Andalucía ha sido uno de los recursos que la han hecho famosa desde tiempos inmemoriales. En la Comunidad Autónoma afloran rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, correspondientes a un amplio abanico de litologías y originadas en medios muy diversos.

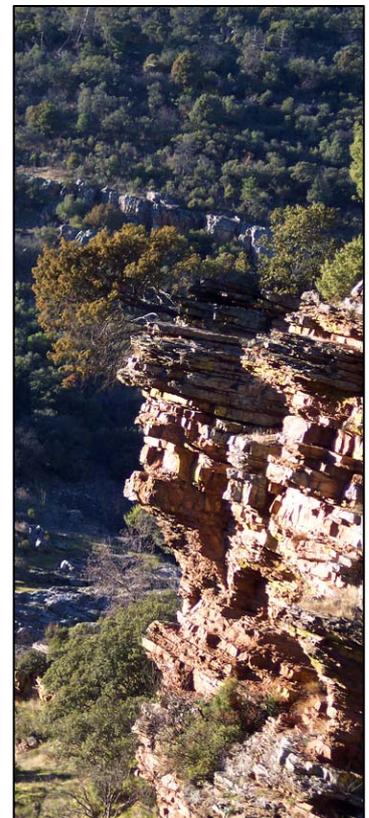
La variedad de minerales que aparecen en el territorio andaluz es muy amplia y han sido extraídos desde tiempos antiguos. La minería de Andalucía data del III milenio a.C. Desde entonces, todas las civilizaciones que han pasado por este territorio han hecho uso de estos recursos, tan útiles para el desarrollo de nuestra civilización. De los numerosos yacimientos destacan los de cobre, hematites, plata, oro, piritita, calcopirita, galena, galena argentífera, blenda, cuarzo, zinc, celestina, eritrina, magnetita, siderita, fluorita, estroncianita, crisotilo, smithsonita, yeso, etc.

Las rocas también han sido usadas desde antiguo por el Hombre, principalmente como áridos y para la construcción. Gravas, arenas, arcillas, calizas, dolomías, mármoles, granitos, serpentinas, etc., son rocas familiares que podemos encontrar en nuestros pueblos y ciudades y, que han condicionado incluso tendencias arquitectónicas y fórmulas habitacionales,

El **Macizo Ibérico** alberga las rocas más antiguas de Andalucía, con edades que abarcan el final del Precámbrico (más antiguas de 540 Ma) y casi todo el Paleozoico. En esta gran unidad geológica afloran principalmente rocas metamórficas (pizarras, cuarcitas, etc.) y plutónicas (granitos y rocas afines) con edades que abarcan desde el Precámbrico hasta finales del Paleozoico.

- En la **Zona Centroibérica** afloran principalmente rocas metamórficas (pizarras y cuarcitas) y rocas plutónicas (granitos). En esta zona se localiza el Distrito Minero Linares - La Carolina, donde se extraían el plomo y la plata de la galena argentífera, que aparece en filones hidrotermales encajantes en los materiales paleozoicos del Macizo Ibérico (granitos, cuarcitas, brechas).
- En **Ossa Morena** aparecen rocas metamórficas (gneis, anfibolitas, esquistos, pizarras y cuarcitas), rocas volcanosedimentarias y rocas sedimentarias (conglomerados, arenitas, areniscas, lutitas). Destacan los yacimientos de carbón de la Cuenca Carbonífera del Guadiato y Valdeinfierno, explotados comercialmente desde hace siglos.
- En la **Zona Sudportuguesa** afloran rocas metamórficas (pizarras y cuarcitas), rocas sedimentarias (areniscas y lutitas), y un complejo volcanosedimentario formado por un armazón de pizarras donde se intercalan rocas volcánicas y subvolcánicas. En este sector se sitúa la mayor reserva de sulfuros masivos del mundo, la Faja Pirítica, de donde se han extraído minerales (pirita, oro, plata y cobre, etc.) desde la antigüedad.

*Cuarcita armoricana. Zona Centroibérica. Foto: M.A. Martín*



La **Cordillera Bética** está constituida por materiales de edades que abarcan todo el Mesozoico y el Cenozoico. Al igual que en el Macizo Ibérico, afloran una extensa representación de rocas, principalmente sedimentarias y metamórficas.

- Las **Zonas Externas** están constituidas principalmente por rocas sedimentarias mesozoicas y cenozoicas depositadas en medios costeros y marinos, aunque también aparecen depósitos continentales. Abundan las rocas calcáreas (calizas y dolomías), mixtas (margas, margocalizas) y detríticas (areniscas, limolitas, arcillitas), y en menor medida otras como evaporitas y radiolaritas. Localmente aparecen rocas ígneas, producto de coladas volcánicas submarinas formadas por procesos de rifting oceánicos.
- Las **Zonas Internas** alojan rocas metamórficas muy antiguas y deformadas, precámbricas y paleozoicas, que formaban parte de la Subplaca Mesomediterránea. También aparecen rocas sedimentarias mesozoicas y terciarias depositadas en los márgenes continentales de este microcontinente. Entre las rocas metamórficas destacan los esquistos, cuarcitas, filitas, mármoles, micaesquistos grafitosos, micaesquistos feldespáticos, anfibolitas y ortogneises. Las rocas

sedimentarias están representadas por calizas, dolomías, conglomerados, areniscas, lutitas y margas. Localmente en la Serranía de Ronda aparecen peridotitas, en forma de gran macizo intrusivo.

- El **Complejo de los Flyschs del Campo de Gibraltar** es un conjunto de sucesiones turbidíticas cretácicas y terciarias compuestas por rocas sedimentarias terrígenas, entre las que destacan margas, areniscas siliciclásticas y areniscas carbonatadas.

Las **Depresiones Neógenas** se caracterizan por sus litologías, esencialmente sedimentarias, de origen marino y continental.

- En la **Cuenca del Guadalquivir** afloran calcarenitas bioclásticas, margas y lutitas de origen marino del Mioceno superior y Plioceno, así como rocas detríticas de origen fluvial.
- Las **Cuencas Intramontañosas** se caracterizan por la presencia de conglomerados, calcarenitas y margas de origen marino, rocas detríticas de origen fluvial, calizas lacustres y evaporitas (yesos).
- En la **Cuenca de Alborán** aparecen arcillas y margas marinas, con intercalaciones de areniscas turbidíticas y evaporitas (yesos) del Messiniense.

Mención especial merecen las rocas volcánicas del Complejo Volcánico de Cabo de Gata, donde aparecen rocas calco-alcalinas (dacitas, riolitas, andesitas y andesitas basálticas), rocas calcoalcalinas potásicas y shoshoníticas (dacitas) y rocas ultrapotásicas (lamproitas).



*Crecimiento de cristales de yeso. Cuenca de Guadix-Baza. Foto: M.A. Martín*

#### 4.4. Diversidad paleontológica y geoarqueológica

Andalucía presenta un amplio abanico de rocas que abarcan desde el Precámbrico hasta la actualidad, una historia geológica de casi de 600 millones de años. En estas rocas han quedado registradas las características de los variados medios y ecosistemas en los que se formaron, los cuales llegan hasta la actualidad en forma de fósiles y estructuras sedimentarias.

Los últimos 600 millones de años son cruciales para la evolución de los organismos eucariotas, ya que durante este enorme intervalo de tiempo han aparecido y evolucionado las plantas y los animales, primero en los mares y océanos y posteriormente en tierra firme.

Las rocas del **Precámbrico superior** y el **Paleozoico** afloran en el Macizo Ibérico y en las Zonas Internas de la Cordillera Bética, en el Complejo Nevado-Filábride y el Alpujárride. Se formaron en ambientes marinos, costeros, pantanosos, etc. Estos materiales aunque se encuentran en gran parte metamorfizados, conservan buenos ejemplos de rocas sedimentarias con contenido fosilífero, además de rocas con bajo grado de metamorfismo que presentan también algunos registros fósiles.

Los afloramientos paleozoicos del Macizo Ibérico poseen una riqueza paleontológica excepcional, debido a la situación paleogeográfica del área, en el borde del continente de Gondwana, que evoluciona desde latitudes casi polares (Cámbrico y Ordovícico) a intermedias y paleotropicales (Silúrico y Devónico).

Las plataformas marinas fueron durante largas épocas verdaderos laboratorios de experimentación morfológica donde floreció la vida, sobre todo en épocas cálidas y/o en zonas ecuatoriales y tropicales. De éstas épocas quedan buenos ejemplos fósiles en Andalucía, como por ejemplo arrecifes de corales, arrecifes de arqueociátidos, artrópodos (trilobites), crustáceos, braquiópodos, moluscos (bivalvos, gasterópodos y cefalópodos), equinodermos, graptolites, etc., restos de partes de los primeros vertebrados como los conodontos, y posteriormente peces, anfibios y reptiles.

De entre ellos destacan algunos yacimientos fósiles como el de Medusas fósiles de Constantina (Sevilla), por la rareza de su conservación, las Series Cámbricas con Icnofósiles de la Zona de Ossa Morena (Córdoba), las Series Ordovícicas de Cuarcita Armoricana y Pizarras de Ossa Morena (Huelva y Sevilla), las Series Silúricas con Graptolites de la Zona de Ossa Morena (Sevilla), o las Sucesiones Devónicas de la Zona Sudportuguesa (Huelva).

Los medios costeros y continentales están magníficamente representados en el Macizo Ibérico, en las rocas de las Cuencas Carboníferas de Valdeinfierno y Guadiato, al norte de la provincia de Córdoba, sobre todo la vegetación carbonífera, con abundantes restos vegetales depositados en medios pantanosos (fragmentos de troncos, hojas, tallos, etc.) a modo de moldes/contramoldes y huellas.

También en este sector se localizan esporas y polen de estas plantas, que permiten reconocer la flora existente en la zona durante el Carbonífero, entre éstos últimos registros destacan los helechos arborescentes, los grandes licopodios (*Lepidodendron* y *Sigillaria*) y los equisetos (*Calamites*), y restos de las primeras coníferas.

Tras la Orogenia Varisca, el Macizo Ibérico queda emergido formando Iberia. Durante el Pérmico y el Triásico la Placa Ibérica emergida se ve sometida a erosión hasta adquirir un modelado similar al actual, tendente a la penillanura. En esta época el clima se continentalizó e hizo muy árido, hecho que condiciona el escaso registro fósil de estos periodos.



*Helechos paleozoicos. Foto: G. Jódar*

Al inicio del **Mesozoico**, tras la gran extinción del Pérmico, ocurrida hace 251 millones, Iberia estaba convertida en una penillanura. En el Triásico andaluz se conservan escasos restos fósiles de vertebrados como huesos de reptiles marinos (tortugas, notosaurios y plesiosaurios) en la Sierra de Segura (Jaén), y algunas buenas muestras de icnitas o huellas fósiles de reptiles continentales, como las de Santisteban del Puerto y Cabra de Santo Cristo, en la provincia de Jaén. Entre los invertebrados predominan las especies costeras y de plataforma como los moluscos (ceratites), bivalvos y gasterópodos. Durante el resto del Mesozoico (Jurásico y Cretácico), las Zonas Externas de la Cordillera Bética constituyen un magnífico registro de la biota de medios marinos y costeros, con gran diversidad y cantidad de especies, principalmente de invertebrados. Este registro, prebético y subbético, ha permitido establecer series estratigráficas muy detalladas que son referencia mundial, las cuales muestran los procesos geológicos y la evolución biológica durante el Mesozoico en el Paleomargen Sudibérico. Entre los invertebrados abundan los ammonites, pero también bivalvos, gasterópodos, corales, equinodermos, etc. Los protoctistas también están muy bien representados, siendo muy numerosos los foraminíferos, radiolarios y las algas. También se conservan restos en algunas áreas de las Zonas Internas, en el Complejo Alpujárride y Maláguide, ligados a las rocas sedimentarias que se depositaban en la plataforma marina de la Microplaca Mesomediterránea.



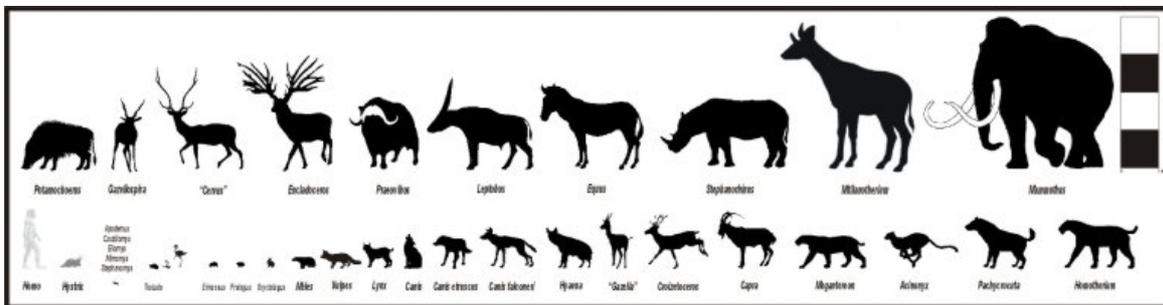
*Erizos mesozoicos. Foto: G. Jódar*

La extinción que marca el final del Mesozoico, hace 65 millones de años, provocada probablemente por el impacto de un meteorito, dio paso a la era de los mamíferos.

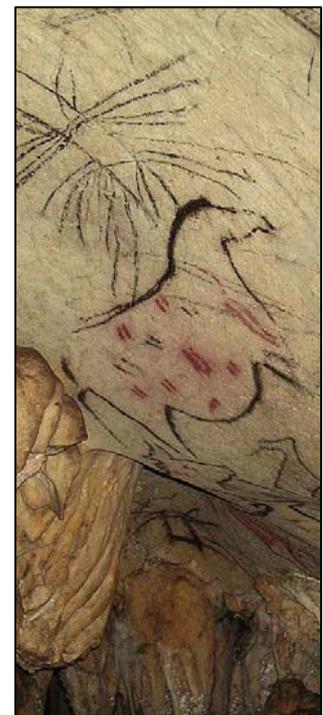
El **Cenozoico** aflora en algunos sectores de las Zonas Externas de la Cordillera Bética y, de forma más local, en el Complejo Maláguide de las Zonas Internas. Pero sin duda, son las Depresiones Neógenas las que atesoran la información más valiosa sobre las biotas cenozoicas. Entre los fósiles del Mioceno

destacan los arrecifes messinienses, en los que se acumularon corales, algas calcáreas, moluscos, gusanos serpulidos, gasterópodos, estromatolitos, etc., de gran interés por su importancia como indicadores de la Crisis de Salinidad Messiniense, aunque también se desarrollaron en otras épocas y otros lugares.

El Plioceno y Pleistoceno continental de Andalucía es excepcional. El relleno sedimentario de la cuenca de Guadix-Baza atesora yacimientos de vertebrados en depósitos fluviales y lacustres de gran calidad, con un elevado número de restos y una excelente conservación. En los yacimientos de Fuente Nueva, del Plioceno superior, se conservan elefantes, hipopótamos y rinocerontes. En Fonelas se han hallados más de 350 fósiles de grandes mamíferos (jirafas, dientes de sable, hienas, etc.) con un estado de conservación excelente del límite Plioceno-Pleistoceno, hace 1,8 millones de años, además de restos de industria lítica. En Venta Micena se localiza una asociación faunística del Pleistoceno inferior formada por numerosos vertebrados, osos, zorros, panteras, hienas, caballos, elefantes, ciervos, roedores y conejos entre otros, siendo famosa por el hallazgo de un resto óseo, atribuido al cráneo de un homínido, que ha sido objeto de discusión en el ámbito científico durante mucho tiempo. En Barranco León, de la misma edad y con el mismo tipo de fauna, aparece además uno restos de la actividad cultural de algunos de los *Homo sapiens* más antiguos del continente euroasiático, junto a lascas de sílex y cuarcitas, y más de 15.000 restos fósiles correspondientes a 19 especies de grandes mamíferos extintos, principalmente insectívoros, roedores, lagomorfos, carnívoros y artiodáctilos.



También es muy abundante y de excelente calidad el registro de homínidos y de su actividad conservado en cuevas y abrigos. Estos medios fueron de vital importancia en las épocas frías del Pleistoceno. La enorme cantidad de refugios de piedra que ofrecía en aquella época el territorio andaluz, constituyeron un hábitat idóneo donde se refugiaron los primeros pobladores andaluces de *Homo neandertalensis* y *Homo sapiens*. En la Cueva del Boquete de Zafarraya, se han hallado restos óseos de *Homo neandertalensis* y restos de fauna del Pleistoceno. La Cueva de Nerja tiene un registro bastante completo de la geología del Cuaternario reciente, con abundantes e importantes restos de actividad antrópica durante los últimos 150.000 años, que ofrecen información crucial para conocer y comprender el paso de las últimas sociedades cazadoras y recolectoras, a las comunidades productoras de alimentos. La Cueva Horá, en Sierra Arana, presenta restos de fauna del Pleistoceno superior y un cráneo de 100.000 años de antigüedad. En la Cueva de La Carrihuela se conserva un registro del Paleolítico Medio, asociado a la industria musteriense, con gran variedad de ejemplares de fauna, principalmente roedores, además de dos fragmentos de parietal y un frontal de *Homo neandertalensis*. El Neolítico, ya con *Homo sapiens*, está muy bien representado en la Cueva de las Ventanas (Piñar) y en la Cueva de los Murciélagos (Zuheros), con restos antropomorfos junto a restos paleontológicos de équidos, cérvidos y cápridos.



Cueva de La Pileta. Foto: El Karst de Andalucía, Geoespeleología, Bioespeleología y Presencia Humana. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, 2008.

#### 4.5. Diversidad geominera y arqueo-industrial

La extracción de metales en Andalucía se remonta al III milenio a.C. Tanto en la zona occidental (Riotinto) como en la oriental (Sierra Nevada) hay vestigios que parecen demostrarlo. Las diferentes civilizaciones que transitaron por la geografía andaluza explotaron los recursos minerales que iban encontrando. La minería ha sido una de las principales actividades en los territorios donde la Tierra lo ha permitido. Hoy, tras su abandono, fundamentado principalmente en la escasa rentabilidad de sus recursos, ha dejado un importante legado en forma de patrimonio minero y arqueo-industrial, de gran interés didáctico y turístico.

Por su importancia y su impronta en el paisaje se pueden destacar en Andalucía varias zonas mineras de reconocida importancia, tales como:

- **Faja Pirítica (Huelva y Sevilla).** Se concentran aquí los los yacimientos volcanogénicos de sulfuros masivos más importantes del planeta. Conocidos desde la prehistoria y explotados sucesivamente a través de los siglos hasta el presente, la minería de la Faja Pirítica conserva gran cantidad de infraestructuras e instalaciones, incluida la mayor línea férrea de la provincia de Huelva, (84 km), que constituyen hoy un ingente patrimonio arqueo-industrial y minero. Entre sus minas destacan las de Riotinto, espectaculares explotaciones a cielo abierto, donde se localiza, por ejemplo: la Corta Atalaya, un hueco de 1200 m de diámetro y una profundidad de 345 m.
- **Distrito minero de Linares - La Carolina (Jaén).** Famosas desde antiguo por su riqueza mineral en plomo y plata, estas tierras han sido a lo largo de los siglos zonas de tradición minera. Linares fue a partir del siglo XIX el principal productor mundial de plomo, con 1.011 concesiones otorgadas en 1890, entre las que destacan la concesión Arrayanes, por su riqueza mineral y su larga historia minera. La Carolina, con su minería serrana, que imprime un toque particular al paisaje minero, introduce un nuevo elemento de transporte, el cable aéreo, esencial en esta zona montañosa. Existe un sinfín de minas e infraestructuras repartidas por toda la zona minera de Linares - La Carolina, que incluye: pozos, chimeneas, fundiciones, lavaderos, poblados mineros, etc.
- **Las Cuencas carboníferas del Guadiato y Valdeinfierno (Córdoba).** El norte de Córdoba está claramente identificado por la única minería del carbón en Andalucía, cuyo territorio fue y sigue siendo uno de los distritos mineros más importantes de España. Los yacimientos de carbón de las cuencas del Guadiato y Valdeinfierno fueron descubiertos a finales del siglo XVIII, adquiriendo verdadera importancia a mediados del siglo XIX. En un principio la explotación fue subterránea, hasta que el avance de las nuevas tecnologías permitió la extracción a cielo abierto. Se conserva un importante patrimonio minero, que incluye pozos, chimeneas, castilletes, viviendas, etc.
- **Minería de la Sierra de Gádor (Almería).** Fueron los fenicios, en los siglos XIV y XII a.C., los primeros pobladores en explotar la riqueza mineral de esta zona, seguidos por romanos, árabes y cristianos. A mediados del siglo XIX había más de 1500 pozos y cientos de fundiciones en su entorno. Su principal riqueza mineral es en plomo, con galena y cerusita como minerales primarios, y fluorita, azurita y malaquita, como secundarios. Los minerales se encuentran en lentejones dentro del macizo, por lo que el método de extracción fue subterráneo mediante galerías, y el mineral era sacado a superficie mediante lumbreras, pozos y trancadas de acceso, para llevarlo en mulos hasta las fundiciones. La actividad se paralizó en la segunda mitad del siglo XX.
- **Mina de Oro de Rodalquilar (Almería).** Son diversas las mineralizaciones asociadas al campo hidrotermal de Rodalquilar, el más importante del Complejo Volcánico de Cabo de Gata, aunque sin duda es el oro la más importante. El oro se ha explotado desde finales del siglo XIX hasta 1996, con explotaciones subterráneas desde su inicio hasta mediados del siglo XX, que pasaron después a explotaciones de interior y a cielo abierto.
- **Minas del Marquesado (Granada).** Los depósitos de hierro explotados en estas minas se localizan en el Complejo Nevado-Filábride de las Zonas Internas, y están cubiertos por los materiales de la Depresión de Guadix-Baza. Su historia minera se remonta a los romanos, si bien su periodo de esplendor más conocido se inicia en 1923, con la explotación subterránea del yacimiento y la construcción del embarcadero de Almería. Posteriormente se incorporaron infraestructuras para tratar el mineral, con el fin de incrementar su explotación. En 1967 llegó a ser la mina de hierro con mayor de producción de España y una de las más importantes de Europa. Actualmente la actividad está paralizada.
- **Minas de Hierro de Lucainena (Almería).** Estas explotaciones mineras se sitúan en el entorno de Lucainena de Las Torres, donde se extraía hierro de las formaciones esquistas y carbonatadas del Complejo Nevado-Filábride. Se inicia en la última década del siglo XIX y se prolonga hasta 1931.

Los yacimientos son estratiformes con mineralizaciones de tipo filoniano. Primero se explotó a cielo abierto y después se pasó a sistemas de explotación subterránea. El mineral se calcinaba en hornos, los cuales aún se conservan, para su posterior traslado en ferrocarril hasta Agua Amarga.

- Además de los mencionados, a lo largo de tan dilatada historia, ha habido innumerables explotaciones que, en su momento y a nivel local, fueron importantes, como la minería de plomo y zinc de la **Sierra de Lújar**; la minería de plomo, oro, fluorita y zinc de la **Sierra de Baza**; la minería de hierro, plomo, zinc y bario de **Sierra Almagrera**; y la minería de hierro y nitratos de **Filabres - Las Menas de Serón**.

Estas actividades han dado como resultado un conjunto de instalaciones mineras, galerías, pozos, cortas, escombreras y balsas, la mayoría abandonadas, entre la que aparecen excelentes ejemplos de elementos de extracción: cabrías, castilletes, planos y canales; elementos de transporte: cables, ferrocarril, rampas, cargaderos y cintas; maquinaria e instalaciones de recuperación: rumbos, lavaderos, filtros, tolvas y cribas; maquinaria e instalaciones metalúrgicas: hornos, chimeneas, fundiciones, instalaciones de refino y balsas; otras instalaciones: eléctricas, depósitos, viviendas, oficinas y bombas de desagüe.

En la actualidad la puesta en valor de este legado minero y arqueológico constituye una excepcional oportunidad para el desarrollo rural de territorios afectados por la crisis estructural de la minería. Se han desarrollado interesantes experiencias como la del complejo minero de Riotinto, convertido actualmente en un Parque Turístico - Cultural, pionero en el ámbito nacional en este tipo de iniciativas. Posteriormente se han desarrollado proyectos similares en el Distrito Minero de Linares-La Carolina, que ya presenta infraestructuras consolidadas, en torno al uso activo patrimonio minero, en la ciudad de Linares y los terrenos que circundan la localidad. En paralelo se ha puesto en marcha el Programa de Turismo Sostenible sobre los "Paisajes Mineros de La Carolina" recién aprobado, también orientado a la interpretación temática de la actividad extractiva en la comarca.



*Cobre nativo, Riotinto. Foto: M.A. Martín*

#### 4.6. Diversidad hidrológica e hidrogeológica

Dentro del ciclo del agua, la importancia de los recursos hídricos subterráneos es enorme. Los **acuíferos andaluces** son reservas de gran calidad y cantidad, especialmente significativas en un territorio donde el ciclo biológico, e incluso las actividades humanas, están en gran medida condicionadas por la pluviometría y el régimen de las precipitaciones.

La superficie ocupada por formaciones susceptibles de albergar aguas subterráneas abarca aproximadamente 21.000 km<sup>2</sup>, lo que supone un 23% aproximadamente de su superficie total. La mayor parte de los acuíferos se localizan en la Cordillera Bética y en las Depresiones Neógenas. La precipitación total en este territorio es de unas 54.000 hm<sup>3</sup>/año, mientras que la descarga fluvial se acerca a solo 10.000 hm<sup>3</sup>, es decir, menos de una quinta parte de la lluvia. La recarga natural para el conjunto de unidades hidrogeológicas considerada se sitúa entre 3.600 - 3.800 hm<sup>3</sup>, de los que casi un tercio, (1.000 hm<sup>3</sup> aprox.) son extraídos, fundamentalmente con destino a cubrir las necesidades de la agricultura.

La capacidad de almacenamiento de las aguas subterráneas es, además, extraordinariamente superior a la propiciada por la regulación de aguas superficiales. Por ejemplo, estimando un promedio de capacidad del 10% para el conjunto de los acuíferos andaluces, en los primeros 50 m de profundidad se alcanzarían cifras de volumen total en torno a los 100 millones de hm<sup>3</sup>.

Las aguas subterráneas son, además, por regla general, recursos de gran calidad, fundamentalmente como consecuencia de su renovación periódica y de la función de los acuíferos como filtros naturales de la contaminación. Pero su buen estado no debe conducir, en ningún caso, al error de promover su sobreexplotación. La concentración de la demanda de agua no está, en la mayoría de los casos, acorde con la disponibilidad del recurso. Este hecho ha conducido, localmente, a la extracción de volúmenes por encima de las tasas de recarga naturales, poniendo en riesgo la calidad de las aguas subterráneas, especialmente en los acuíferos más vulnerables, como por ejemplo los acuíferos costeros, donde se han producido problemas de salinización difícilmente solucionables. Es preciso incentivar una correcta

gestión de las aguas subterráneas destinada al aprovechamiento racional de los recursos y al respeto de sus diferentes funciones ambientales y sociales, que abarcan desde la conservación de ecosistemas húmedos asociados a surgencias y manantiales, hasta el abastecimiento urbano de numerosas localidades.

La utilización y funciones de las aguas subterráneas andaluzas presentan, no obstante, grandes diferencias en función del ámbito geográfico:

En **Sierra Morena**, modelada en su mayor parte por materiales impermeables, el ciclo del agua está dominado principalmente por la escorrentía superficial. Hay pocas reservas hidrogeológicas y éstas suelen ser muy locales y de escasa continuidad, aunque sin embargo, resultan determinantes en la localización de asentamientos y en la actividad humana. Por ejemplo, los pueblos y aldeas de la Sierra de Huelva coinciden en su localización con los principales manantiales de la comarca, asociados al contacto de las calizas paleozoicas con las pizarras y rocas metamórficas circundantes. Este hecho incluso se pone de manifiesto con los nombres de las diferentes localidades, relacionados directamente con el mundo del agua (Fuenteheridos, Cañaverale de León, Arroyomolinos de León, etc.).

En la **Cordillera Bética**, es tan importante la circulación superficial como la subterránea, los acuíferos y manantiales, fundamentalmente calizos, han permitido a través de la historia el desarrollo de una extraordinaria cultura del agua, que incluye, por ejemplo, el abastecimiento de pueblos y ciudades, el uso recreativo y terapéutico de manantiales, o el desarrollo de complejos sistemas de riego tradicionales, muchos de ellos aún en funcionamiento. La permeabilidad y porosidad de los materiales, bien directa (acuíferos detríticos) o por disolución (acuíferos carbonatados), regula el régimen torrencial de las precipitaciones, proporcionando una mayor disponibilidad de recurso a lo largo de todo el año. Esta función de regulación se beneficia también de la precipitación en forma de nieve, que contribuye también a la dulcificación del estiaje propio del clima mediterráneo. Un análisis del poblamiento y la actividad humana en las Cordilleras Béticas pone claramente de manifiesto la relación de éstas con los recursos hidrogeológicos. La importancia de las aguas subterráneas en estos territorios es tal, que en cierto modo puede afirmarse que constituyen el aljibe natural de Andalucía, donde se localizan además las principales fuentes de los ríos y cursos fluviales de la Comunidad Autónoma.

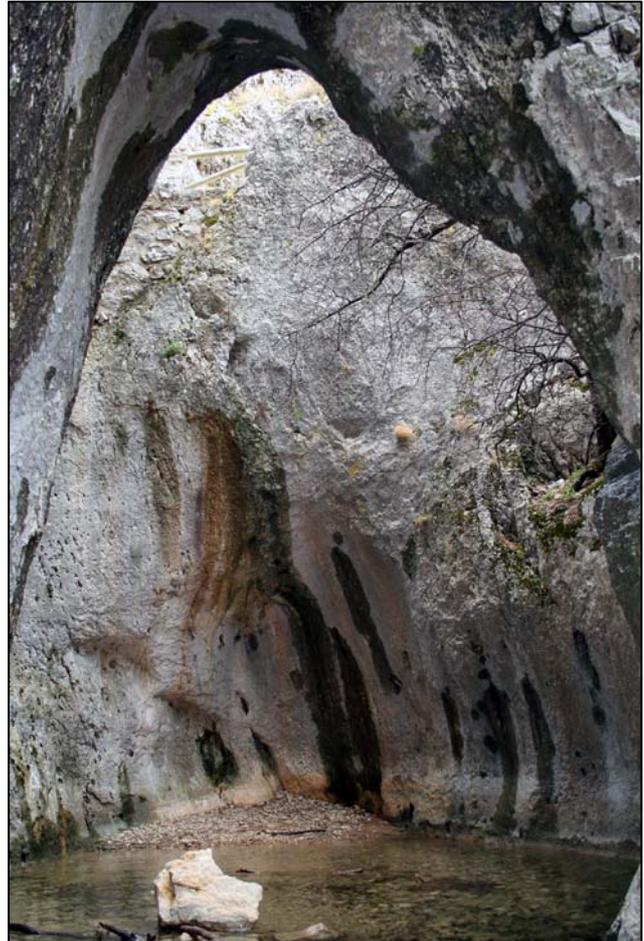
La **depresión del Guadalquivir y las cuencas intramontañosas** comprenden también un considerable número de acuíferos y reservas hidrogeológicas. Son el territorio por excelencia de los acuíferos aluviales, formados en los depósitos de valle de los tramos medios y bajos de los grandes ríos andaluces. Asimismo están presentes otras unidades hidrogeológicas ligadas a medios sedimentarios litorales o de transición (afloramientos de calcarenitas, biocalcarenitas, margocalizas, etc.) o a ambientes paleogeográficos, que favorecieron el depósito de materiales detríticos de fracción gruesa. Estos acuíferos han sido también intensamente explotados, sobre todo en épocas recientes, con destino al aprovechamiento agrícola intensivo. Han sido empleados como base o apoyo al desarrollo de las áreas regables más emblemáticas de Andalucía, tales como: los valles del Guadalquivir, Guadalete, Guadiaro, Genil, Guadalfeo, el Campo de Dalías y el poniente almeriense o la Costa tropical granadina, entre otros.

En relación a las **aguas superficiales**, Andalucía es un auténtico ejemplo de variedad en lo referente a formas, modelados y elementos asociados al ciclo del agua. Estuarios y marismas, deltas, meandros, islas y terrazas fluviales, barrancos y cañones, cárcavas, torrentes, abanicos aluviales, complejos endorreicos, lagunas interiores y litorales, etc., constituyen un amplio muestrario de la diversidad de manifestaciones que caracterizan este tipo de recursos en estado natural y, que son, además, el testimonio de un complejo sistema de procesos físicos, que incluyen, desde el balance sedimentario, hasta el régimen de precipitaciones.

En relación a los sistemas fluviales, éstos pueden agruparse en dos grandes grupos:

Los ríos y cursos fluviales de la **vertiente atlántico-andaluza** están caracterizados por perfiles longitudinales más suaves y atemperados, dominados por cabeceras de media y alta montaña, tramos medios de gran recorrido y amplias y llanas desembocaduras, de marcada horizontalidad, desarrolladas por medio de estuarios. El cierre de estos estuarios por cordones y flechas litorales propicia a su vez la formación de grandes espacios marismesños, colmatados progresivamente por el aporte de sedimentos procedente del continente.

Los ríos, ramblas y arroyos de la **vertiente mediterránea-andaluza**, se singularizan por un perfil longitudinal muy acusado y de fuerte pendiente, además de por estar sometidos a un régimen torrencial más marcado, con una acusada sequía estival y carencia de factores de regulación natural con capacidad de atemperar dicho régimen. Son cursos fluviales con enormes oscilaciones anuales e interanuales en sus caudales. Durante los episodios de avenidas las aguas pueden multiplicar decenas de veces sus caudales medios, arrastrando a su paso una gran cantidad de materiales. La ausencia de tramos medios con capacidad de reducir la capacidad energética de estas crecidas hace que estos arrastres lleguen con gran fuerza y carga de sedimentos a la zona de desembocadura, incrementando notablemente su peligrosidad. En las zonas de desembocadura, los deltas y las albuferas reemplazan, en la vertiente mediterránea, a los estuarios y las marismas característicos de la fachada atlántico-andaluza.



*Nacimiento del Guadalquivir. Foto: M.A. Martín.*

#### 4.7. Diversidad geomorfológica y paisajística

Andalucía es sin lugar a dudas uno de los territorios con mayor diversidad geomorfológica y paisajística de la península. Esta excepcional variedad está condicionada por su historia geológica y climática, y responde a la estructura y composición de las rocas que la constituyen. En gran parte la diversidad de paisajes andaluces deriva directamente de la diversidad de formas y materiales.

Entre los numerosos paisajes andaluces cabe destacar los entornos litorales, representados extensamente a lo largo de la fachada atlántica y mediterránea; los sistemas glaciares más meridionales de Europa, manifestados en las cumbres del macizo de Sierra Nevada; el entorno árido del Desierto de Tabernas y el sureste almeriense, que recuerda a los actuales ambientes africanos; los sistemas kársticos que el agua ha modelado sobre las rocas carbonáticas de las Zonas Externas, donde además se produce el nacimiento de los principales ríos que transcurren por la Comunidad Autónoma. Es, por tanto, un gran laboratorio natural, de formas, de sistemas y de agentes morfodinámicos, que se conjugan para dar una riqueza geomorfológica y paisajística extraordinaria. Andalucía es, por tanto, un mosaico de relieves y formas, labrados por distintos procesos, sobre los que los seres vivos han configurado, a través de su cultura, formas de vida y aprovechamiento, los paisajes que definen su identidad territorial. En Andalucía aparecen los siguientes sistemas morfodinámicos, formas y procesos asociados:

**Sistema Glaciar.** Las cumbres de Sierra Nevada han sido modeladas intensamente por la acción de masas permanentes de hielo, por encima de los 2.500 m de altitud, durante los períodos fríos del

Cuaternario. Entre sus formas de erosión destacan las lagunas y las formas en cubeta de la cabecera de algunos barrancos, heredadas de los antiguos circos glaciares; los valles en U modelados por los glaciares de valle cuaternarios, y las rocas aborregadas, estrías y pulimentos derivados del roce del hielo y los derrubios que éste arrastraba. Sus formas de acumulación más características son las morrenas, de las que se conservan buenos ejemplos tanto laterales como terminales o frontales.

*Foto: Cumbres de Sierra Nevada, M.A. Martín.*



**Sistema Periglaciar.** Se localiza en las cumbres más altas de Andalucía, principalmente en Sierra Nevada, aunque también se observan buenos ejemplos en otras sierras andaluzas como Sierra Mágina, Sierra de Segura, Sierra de Cazorra, etc. Los procesos más significativos son los fenómenos de gelifracción, solifluxión y crioturbaación. La gelifracción produce la fragmentación de las rocas, formando gelifractos, que pueden constituir depósitos consolidados, aunque con frecuencia las grietas que se producen facilitan los desprendimientos de este material suelto, originando derrubios y canchales muy característicos de estas zonas. La solifluxión también origina depósitos en laderas y coladas de barro, y tanto ésta como la crioturbaación dan lugar a una serie de formas menores originadas por el ordenamiento geométrico de los cantos: suelos poligonales, círculos e hileras de piedras, pináculos de tierra, pavimentos de piedras, etc. Destaca en Sierra Nevada la presencia de permafrost, un tipo especial de suelo que permanece helado durante la mayor del año y, que en la actualidad, puede estar sufriendo las consecuencias del cambio climático.

*Foto: Cumbres de Sierra Mágina, M.A. Martín.*



**Sistema Fluvial.** La red hidrográfica superficial y la arroyada en manto generan morfologías muy características en las que predominan las llanuras y planos inclinados (glacis). La dinámica fluvial es muy activa y a lo largo de su recorrido las corrientes de agua, continuas o discontinuas, erosionan, transportan y depositan sedimentos, procesos que se concentran sobre todo en los tramos alto, medio y bajo respectivamente de las cuencas. Asociadas a estos procesos se generan una variedad de formas, de las que Andalucía ofrece un buen catálogo. Entre las formas asociadas a cauces de ríos interfluvios destacan los cañones y desfiladeros, los valles fluviales, los meandros vivos y abandonados, las mesas o relieves residuales y los cerros testigos. Las formas de acumulación están representadas entre otras por abanicos aluviales, terrazas fluviales, llanuras de inundación, meandros colmatados y deltas. Gran parte de estas zonas constituyen hoy día el granero de Andalucía, donde se desarrollan los suelos más potentes y fértiles, sobre todo en las terrazas fluviales y llanuras de inundación.

*Foto: Cañón fluvio-kárstico, M.A. Martín.*



**Sistema Lacustre.** Si bien en tiempos geológicos recientes el número de lagunas fue mucho más numeroso que en la actualidad, se localizan aún en Andalucía numerosas lagunas endorreicas de pequeño tamaño. Muchas de ellas son de origen litoral, heredadas de antiguas zonas costeras (lagoon). Buenos ejemplos de este tipo de formaciones son, la Laguna de la Janda, prácticamente desaparecida a favor de cultivos agrícolas, la laguna de las Madres, o las Albuferas de Adra, las Salinas de Cabo de Gata y el humedal de Punta Entinas - Sabinar. La mayoría de las cubetas lagunares andaluzas se desarrollan, no obstante, sobre los materiales arcillosos de las facies Keuper triásicas, o sobre las Unidades Olistostrómicas de la Depresión del Guadalquivir, en plena campiña andaluza. Son por lo general pequeñas lagunas endorreicas poco profundas, alimentadas por agua de lluvia y por la escorrentía superficial, o asociadas a descargas difusas de acuíferos. Tienen su origen en la disolución de los yesos y evaporitas que acompañan este tipo de materiales. Presentan además un alto interés ecológico ligado a su función como humedales naturales, así como a su capacidad de conexión entre hábitats palustres. Ejemplos destacados de estos complejos endorreicos son la Laguna de Fuente de Piedra, en Málaga, o la laguna de de Medina, en Cádiz.

*Foto: Laguna de Fuente Piedra, Consejería de Medio Ambiente.*



**Sistema Kárstico.** El agua de lluvia y nieve y las aguas subterráneas disuelven las rocas carbonáticas solubles, calizas y dolomías, para formar en Andalucía un mosaico de relieves de origen kárstico. Los paisajes kársticos se extienden por todas las sierras calizas andaluzas, estando especialmente desarrollados sobre las Zonas Externas de la Cordillera Bética (Subbético y Prebético). Se caracteriza por la abundancia de formas exokársticas y endokársticas. Entre las formas superficiales aparecen lapiaces, lenares, dolinas, uvalas y poljes, así como travertinos y tobas ligados a surgencias de agua o cascadas fluviales. En el mundo subterráneo abundan las simas, galerías, sumideros, chimeneas, cascadas, lagunas, espeleotemas (estalagmitas, estalactitas, columnas, cortinas, etc.) y un elevado número de cuevas, grutas y galerías, entre las que cabe destacar la Cueva de Nerja, la Sima GESM, el Complejo Hundidero-Gato, la Cueva de Piñar, la Cueva del Agua, la Gruta de las Maravillas, etc.



*Foto: Torcal de Antequera, M.A. Martín.*

También se forman en Andalucía modelados kársticos (pseudokarst) en materiales evaporíticos, especialmente en yesos, el más espectacular, sin duda, es el Karst en Yesos de Sorbas. En superficie, además de formas específicas como los túmulos, se desarrollan profundos lapiaces y miles de dolinas que recogen y transmiten el agua hacia el interior del karst. El karst subterráneo está constituido por una intrincada red de galerías y salas intercomunicadas tapizadas por espeleotemas: estalactitas y estalagmitas, columnas, cortinas, yesos coraloides, enrejados y bolas de yeso, anillos, etc., así como cristalizaciones de yeso, a veces con excelentes ejemplares de tamaño métrico.

**Sistema Denudativo.** Es el sistema dominante en la actualidad, ya que abarca todas las Depresiones Neógenas con materiales blandos, siendo además es el responsable del retoque morfológico del resto de sistemas morfodinámicos. Genera formas del relieve ampliamente distribuidas por toda Andalucía, tales como llanuras, lomas, colinas y cerros, muy bien representadas en todas las campiñas andaluzas. Quizás uno de los paisajes denudativos más singulares sean los badlands de las Depresiones Neógenas del sureste de Andalucía, tales como el de la Depresión de Guadix-Baza o el Desierto de Tabernas, donde la naturaleza blanda del sustrato, la aridez del clima y el carácter torrencial de sus precipitaciones, han dado como resultado un modelado erosivo muy característico. En estos sectores la escorrentía genera formas como las chimeneas de hada, los surcos o regueros y gullies o las cárcavas profundas de paredes verticales. La dinámica de laderas provoca el aporte de un importante volumen de material hacia las ramblas, además de numerosos desplomes y colapsos, así como relieves pseudokársticos producidos por la tubificación (piping) de las laderas por donde el agua infiltrada evacua los materiales.



*Foto: Cárcavas de Márchal, Consejería de Medio Ambiente.*

Un tipo especial de forma denudativa es el relieve labrado sobre las rocas graníticas del Macizo Ibérico, derivado de la progresiva alteración del granito a favor de las fracturas que presenta. Estas fracturas están originadas por la descompresión a que es sometida la masa rocosa conforme son erosionados y desmantelados los materiales más superficiales. El agua penetra por las grietas y fracturas transformando su composición original en una arena de cuarzo con arcillas y óxidos de hierro, que es a su vez transportada, contribuyendo a la individualización en bloques del granito. Estos bloques van progresivamente redondeando sus formas hasta formar el típico paisaje aborregado conocido comúnmente como “berrocal”.



*Foto: Berrocal, G. Jódar.*

**Sistema Gravitacional - Denudativo.** El modelado de ladera ha formado numerosos ejemplos de derrubios y canchales, situados, la mayor parte de ellos, en las sierras Béticas, así como deslizamientos y formas generadas por la solifluxión de materiales arcillosos, que aparecen frecuentemente en las Unidades del Campo de Gibraltar, en muchas de las vertientes de materiales margo-arcillosos de las

Sierras Subbéticas de Granada, Jaén y Córdoba, y en algunos relieves particulares, como las laderas de las Lomas de Jaén o el Aljarafe sevillano. Los glacis son otras de las formas bien representadas, tanto en las Depresiones Neógenas como los piedemontes de las sierras Béticas.



Foto: Canchales béticos, G. Jódar.

**Sistema Estructural - Denudativo.** Las formas originadas por este sistema son también muy frecuentes en Andalucía, consecuencia de la huella dejada por la Orogenia Varisca y Alpina. Entre las formas generadas por el depósito de materiales consolidados aparecen relieves tabulares mono y acinales, los cuales dan lugar a diversas morfologías, como cuestras, mesas, etc. Las formas condicionadas por plegamiento se agrupan, en función de su relieve, en morfologías colinares, cerros y montañas. Los relieves de plegamiento ocupan grandes extensiones de Sierra Morena y la Cordillera Bética, donde pueden reconocerse sierras estructurales estables, de menores pendientes y erosión, sierras estructurales inestables, sometidas a fuertes procesos de erosión y pendientes más acentuadas, y relieves en escama (chevron)



Foto: Relieves tabulares, G. Jódar.

Los relieves estructurales arrasados por la erosión en tiempos geológicos pasados dan lugar a superficies de peniplanización más o menos conservadas o disectadas. Amplias zonas de penillanura con montes isla (inselberg) y relieves residuales, como los que ocupan el norte de Córdoba. También se relacionan con este sistema formas que no responden a una génesis estrictamente estructural, aunque sí están condicionadas por ella, tales como cañones y barrancos a favor de fallas o condicionadas por la pendiente y la red hidrográfica. Así en Sierra Morena, por ejemplo, son frecuentes los tramos de ríos que han excavado profundos barrancos a favor de fallas y de la dirección principal que toman las estructuras del plegamiento varisco.

**Sistema Eólico.** El viento es un agente modelador del relieve muy importante en zonas costeras, especialmente en las costas bajas de Huelva y Cádiz, donde existe disponibilidad de arenas litorales. Las dunas son montículos de arena que se desplazan por el suelo a favor del viento. Presentan morfologías variadas que permiten su clasificación en varios tipos: dunas barján, transversales, parabólicas y longitudinales. Pueden aparecer, también, en diferentes formas y fases de actividad: dunas actuales y dunas móviles, dunas estabilizadas y dunas fósiles. En Andalucía destacan principalmente las dunas del sector de Doñana, las de Barbate, Bolonia, etc., y los mantos eólicos o extensas llanuras eólicas que se extienden hacia el interior en algunos sectores del litoral onubense (Doñana, Abalario, etc.). En menor medida, se dan también en zonas concretas de la costa mediterránea, destacando las dunas y arenales de la Bahía de Almería y Cabo de Gata.



Foto: Dunas en Matalascañas, G. Jódar.

El viento cargado de arena produce asimismo formas erosivas muy características. La corrosión o abrasión eólica es provocada por vientos cargados de material abrasivo, siendo las arenas, con su alto contenido en cuarzo, las que originan una mayor corrosión de los materiales. Se originan así las formas típicas de tafonis, alveolos y nidos de abeja, bien representadas en el litoral gaditano y en las Sierras del Aljibe.

**Sistema Costero.** El litoral es la zona de contacto entre los dominios marítimo y terrestre, un área con marcadas morfologías, asociadas en su mayor parte a la dinámica litoral de un sector concreto de la costa (unidad fisiográfica). En Andalucía aparecen dos zonas costeras que dan lugar a paisajes y formas bien diferenciadas: la fachada atlántica y la fachada mediterránea. Esta diferenciación está en gran

medida determinada por la distinta composición litológica de los materiales, así como por su variabilidad en relación a topografía, disposición del relieve, régimen de oleaje y marea, etc.

La costa atlántica está sometida a las corrientes, mareas y oleajes propios de un océano abierto. Presenta un alto contenido en sedimentos vertidos en sus aguas por las principales arterias fluviales de la región, que desembocan en él mediante amplios valles y estuarios, favoreciendo el aporte de sedimentos detríticos a la costa. Se caracteriza por un relieve más plano y suave, continuado en medios de marinos y de transición por una plataforma más extensa que en la fachada mediterránea. Los principales elementos configuradores del relieve son, por este orden: el oleaje, en especial la deriva litoral asociada a éste, y las mareas. El elemento con mayor capacidad de intervenir en el modelado costero de la Andalucía atlántica es, indudablemente, el oleaje. Según la dirección dominante del oleaje se establece una corriente paralela a la línea de costa, denominada deriva litoral, la cual resulta determinante en el balance sedimentario local. La deriva litoral es la encargada del transporte y sedimentación de los sedimentos de un determinado sector del litoral (unidad fisiográfica), estos incluyen, tanto los áridos procedentes de la propia erosión del oleaje, como los procedentes del aporte fluvial. Los sedimentos se depositan preferentemente siguiendo la misma dirección de esta deriva litoral. Este proceso es el que ha dado como resultado la formación de las flechas litorales, cordones dunares que han cerrado los estuarios de los grandes ríos atlántico-andaluces (Guadalquivir, Tinto, Odiel, Guadalete, Barbate, etc.), favoreciendo el desarrollo de marismas y lagoons en las antiguas ensenadas que componían dichos estuarios tras la transgresión Flandriense (6.500 BP). Los efectos morfológicos derivados de la acción de las mareas, de magnitud mesomareal, están más relacionados con la colmatación de estas zonas internas marismeñas, en gran parte a través de los procesos de floculación característicos de las zonas de transición entre las aguas continentales y marinas. En la fachada atlántica son también reconocibles otros elementos propios de la morfología costera, tales como acantilados (Barbate, Asperillo, Conil, etc.) o lagunas litorales (Las Madres o La Janda).



*Foto: Costa de Doñana, Consejería de Medio Ambiente.*

La costa mediterránea se caracteriza por la proximidad de los relieves montañosos de las sierras béticas, que se prolongan hasta el mismo mar, por la existencia de una red hidrográfica de menor longitud y con fuertes desniveles y escasas distancias entre su nacimiento y su desembocadura y por la existencia de mareas micromareales con muy poca amplitud. Como consecuencia, la plataforma continental tiene una extensión mucho menor, predominando las formaciones acantiladas, en cuyas orillas han quedado reflejadas las huellas de diferentes regresiones y transgresiones marinas (terrazas marinas). Solo en las escasas zonas abiertas, coincidentes con las desembocaduras de cursos fluviales, se han desarrollado pequeñas playas y ensenadas, cada una de las cuales funciona como unidad fisiográfica independiente. Las condiciones de aridez climática se extreman a medida que se avanza hacia el este, dando como resultado la formación de las ramblas litorales (cauces secos durante gran parte del año) que por efecto de la escasez y torrencialidad de las lluvias, favorecen la formación de costas bajas en sus desembocaduras, debido a la enorme acumulación de materiales erosionados y arroyados (hoyas litorales). En consecuencia predominan dos tipos de morfologías litorales: a) los acantilados tramos rocosos costeros, marcados por las dinámicas de evolución impuestas por el oleaje; y b) las playas y sectores de costas bajas, compuestas por sedimentos, en su mayor parte de origen fluvial, procedentes del balance sedimentario de los ríos y ramblas mediterráneos y, por tanto, de fracciones más gruesas e irregulares que en la fachada atlántica.



*Foto: Costa Maro-Cerro Gordo, Consejería de Medio Ambiente.*

**Sistema Estuarino.** Se agrupan aquí todas aquellas morfologías generadas como consecuencia de procesos de inundación periódica ocasionados por la acción de las mareas y vinculados, bien a aguas marinas, de forma dominante (formas mareales o) bien a aguas continentales (formas fluvio-mareales). Estos paisajes aparecen principalmente en la costa atlántica, donde el rango de mareas es de mayor magnitud. Buenos ejemplos de este tipo de espacios son: las marismas del Guadalquivir, las de Ayamonte, las del río Carreras, las del Piedras, las del Odiel y el Tinto, las del Guadalete, Barbate, etc. La formación de estos paisajes, de marcada horizontalidad, está asociada al avance progresivo de

las flechas litorales que cierran los estuarios, principalmente en la fachada atlántica, así como a la paulatina colmatación de la llanura mareal producida tras dicho cierre. Mareas, geomorfología y vegetación se encuentran estrechamente relacionadas en estos territorios. Distintas especies adaptadas, en mayor o menor medida a medios halófilos, se distribuyen atendiendo a periodicidad y duración de la inundación mareal. Son reconocibles así, elementos como marismas altas y bajas, en estado natural o transformadas, caños y esteros, los cuales determinan los parámetros edafológicos y biológicos en transectos que abarcan diferentes niveles topográficos de la marisma. La evolución de los suelos, que se produce a través de un proceso de maduración, integra desde los materiales sedimentarios sapropélicos recientes, propios de las zonas más bajas y frecuentemente inundadas (sikkés), hasta los suelos de marisma alta y contactos arenosos (schorres), expresando la secuencia pedogenética característica del sistema.



*Foto: Marismas de Doñana, Consejería de Medio Ambiente.*

En las costas mediterráneas, con rangos micromareales, antiguas barras arenosas cierran láminas de aguas salobres o saladas, constituyendo típicas albuferas como las de Adra o la de las Salinas de Cabo de Gata.

El sistema estuarino presenta también un excepcional interés como soporte de ecosistemas palustres. Constituyen auténticas reservas de la Biodiversidad andaluza, cuya función se ve beneficiada por la situación estratégica de la Comunidad Autónoma en el tránsito y migración anual, entre Europa y África, de miles de aves acuáticas, pertenecientes a numerosas especies diferentes.

**Sistema Volcánico.** Aparece en Andalucía exclusivamente en la zona del Cabo de Gata, en Almería, donde se pueden observar formas originadas directamente por la actividad volcánica reciente, tales como calderas, domos volcánicos, conos volcánicos y coladas de lava. Constituye paisajes geológicos de formas caprichosas, con un colorido variado, en el que dominan los tonos ocre, rojos y negros, con variedad de texturas y estructuras, entre las que destacan buenos ejemplos de disyunción columnar.



*Foto: Cabo de Gata, Consejería de Medio Ambiente.*

En el Macizo Ibérico se pueden observar localmente algunas formas derivadas de la actuación de fenómenos de erosión, plegamiento o denudación sobre rocas volcánicas paleozoicas.

#### 4.8. Diversidad edáfica

El suelo es también parte de la geodiversidad andaluza. Se define como la parte sólida más externa de la corteza terrestre, en cuya formación y desarrollo convergen procesos bióticos y abióticos. Se trata, por tanto, del medio por excelencia donde interactúan atmósfera, geosfera, hidrosfera y biosfera, un medio complejo y de transición entre el aire, el agua, los seres vivos y la roca subyacente. El suelo es también el soporte primero de vida, de las cadenas tróficas y del conjunto de los ecosistemas, determinante a su vez en todas las actividades humanas. Si bien los suelos no son sólo el resultado exclusivo de procesos relacionados con el medio físico, éstos sí que son parte esencial de su génesis y evolución. La diversidad de litologías, sistemas y agentes morfodinámicos de Andalucía, condiciona en gran medida la variedad de los suelos, así como la complejidad de dinámicas y propiedades edáficas. Esta riqueza es también el sustento primero de la extraordinaria biodiversidad andaluza, de su patrimonio biológico, de las actividades productivas desarrolladas por el hombre y, en consecuencia, de buena parte de su patrimonio etnográfico y cultural.

La Base de Referencia para los Suelos del Mundo FAO/UNESCO 1998 define 30 grupos de suelos, de los cuales pueden reconocerse en Andalucía principalmente los siguientes:

- Suelos orgánicos: Histosoles.

- Suelos de baja evolución condicionados por el material originario: Arenosoles, Vertisoles, Leptosoles y Regosoles.
- Suelos de baja evolución condicionados por la topografía: Fluvisoles y Gleysoles.
- Suelos típicamente de clima árido o semiárido: Calcisoles y Solonchaks.
- Suelos típicamente de clima estepario. Phaeozems.
- Suelos típicamente de clima templado húmedo: Cambisoles.
- Suelos típicamente de clima mediterráneo húmedo (con estación seca intensa): Luvisoles.
- Suelos con árgico muy evolucionados: Planosoles.



*Suelos de alta montaña.  
Foto: G. Jódar*