

# ATLAS NACIONAL DE ESPAÑA

SECCIÓN II

GRUPOS 5 Y 6



GEOLOGÍA Y RELIEVE

**E**l Mapa Geológico Nacional (MAGNA), cuya elaboración es una de las principales actividades del Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE), es un documento cartográfico que permite conocer con detalle la naturaleza y composición de nuestro suelo y subsuelo próximo. Se realiza a las escalas de 1:50.000, 1:200.000, y el de síntesis, a la escala de 1:1.000.000, que se actualiza periódicamente.

El MAGNA constituye un documento que cubre dos demandas de uso por la sociedad. El primero y fundamental, como aporte de infraestructura básica y necesaria para el desarrollo de sectores con gran incidencia en la vida económica del país, tales como investigación de recursos hidrogeológicos y mineros, grandes obras de ingeniería civil, agricultura, prevención de riesgos geológicos, ordenación del territorio, etc. El segundo es de orden científico, puesto que su contenido ofrece a la comunidad científica y técnica el primer eslabón en I+D en el sector de las Ciencias de la Tierra.

La elaboración de mapas geológicos es una actividad del ITGE que comenzó en el mismo momento de su fundación hace más de ciento cuarenta años; no en vano, durante casi sus primeros sesenta años se denominó Comisión del Mapa Geológico de España. Ahora bien, si la elaboración del Mapa Geológico de España es una tarea que viene de antiguo, no ha sido sino a partir de 1971 cuando se ha abordado de forma sistemática la realización del Mapa Geológico Nacional a la escala de 1:50.000. Anteriormente se había realizado un buen número de hojas a esa misma escala, si bien, en general, con un nivel muy desigual en cuanto a su calidad, ya que no se disponía de una normativa ni de metodología adecuada para la realización de lo que debe ser un mapa geológico útil a la sociedad.

El denominado Proyecto MAGNA comenzó en 1971 con la realización de 10 hojas «piloto», cada una de ellas en una región geológica diferente, lo que permitió poner a punto una normativa y metodología de ejecución. Esta normativa contemplaba no solamente la parte científica y técnica de realización del Mapa Geológico, sino también los procedimientos para establecer un severo control en la calidad de los mapas que debían realizarse.

Entre 1972 y 1977 se realizaron hojas geológicas a un ritmo de unas 75 hojas/año lo que unido a la escasez de personal del ITGE en las tareas de control de calidad, propició que los mapas de esa época tengan un nivel de calidad en su vertiente

científica muy desigual, no así en lo que se refiere a infraestructura, ya que aportan un conocimiento geológico del país que es ciertamente aceptable. A partir de 1978 se produce una mejora gradual en la calidad de éstos, situándolos al mismo nivel, y en algunos casos incluso superior, que los mapas geológicos que se realizan en los países más desarrollados del mundo.

En 1989 se inició una etapa nueva al incluir especificaciones técnicas que exigen, además de los habituales estudios geológicos, estudios de teledetección a partir de imágenes de satélite, y un mayor rigor en la toma y tratamiento de datos de interés económico más inmediato, como son los de carácter hidrogeológico, metalogenético, geofísico, geomorfológico, etcétera.

Esta etapa necesita la participación de equipos de trabajo pluridisciplinarios, cuya integración plena en la realización del proyecto no solamente le da un mayor contenido a los documentos cartográficos que se generan, sino que los refuerza tanto en su vertiente de infraestructura como en la científica. Al mismo tiempo, potencia la investigación y el desarrollo metodológico en el sector de las Ciencias de la Tierra. Este nuevo MAGNA, del que ya se dispone de más de 90 hojas, incluye entre otros los siguientes mapas: geológico, geomorfológico, neotectónico, hidrogeológico y de lineamientos; además de la información acerca de recursos mineros, geofísica, puntos de interés geológico, descripción de características geotécnicas generales, etcétera.

En total, hasta este momento se han realizado más de 1.000 hojas geológicas a escala 1:50.000, y 20 hojas geológicas a escala 1:200.000, lo que significa aproximadamente el 90 por 100 y 20 por 100 del territorio nacional, respectivamente.

Madrid, enero de 1993.

CAMILO CARIDE DE LIÑÁN  
Director General  
del Instituto Tecnológico GeoMinero de España

**D**entro de los trabajos previstos en el desarrollo del Atlas Nacional de España, llega ahora el momento de la publicación de un nuevo cuadernillo, que incluye en este caso dos temas en cierta manera complementarios, el Grupo 5, Geología y el Grupo 6, Relieve.

La Geología nos presenta de una manera breve las características geológicas y tectónicas de nuestro territorio, del sustrato sobre el que nos asentamos.

El Atlas Nacional de España dedica otro cuadernillo, el 41 ya publicado, a presentar la Información del Territorio realizada por otros organismos (distintos del propio Instituto Geográfico Nacional) y allí se ha incluido información suficiente sobre la numerosa cartografía geológica realizada por el ahora denominado Instituto Tecnológico GeoMinero de España.

Por otra parte el Relieve es una de las manifestaciones más acusadas de nuestro territorio. Todos conocemos esta característica, y cómo esta configuración territorial, tan peculiarmente accidentada, ha condicionado numerosas facetas de nuestra actividad, desde los asentamientos humanos, a la red de comunicaciones terrestres (carreteras y ferrocarriles), sin olvidar los problemas de nuestra agricultura.

No solamente se ha considerado el relieve en sí mismo, sino que se presenta un amplio estudio de cómo se ha ido representando el relieve, a lo largo del tiempo, con objeto de que esta característica sea conocida por el usuario y pueda evaluar y resolver los diferentes problemas que se le pudieran presentar. Solamente a partir de un amplio y exacto conocimiento del

territorio sobre el que nos asentamos podemos planificar y desarrollar nuestras actividades.

Finalmente y como novedad presentamos las actuales formas de representación del territorio, consecuencia de las posibilidades que la tecnología actual ha puesto en nuestras manos.

La informática como elemento de soporte ha posibilitado nuevos caminos a la representación cartográfica del territorio. A partir de los modelos digitales del terreno es posible suministrar al usuario nuevas formas de representación del territorio y de su relieve, decidiendo escalas, puntos de vista, inclinaciones, ángulos de luz..., dándole unas inmensas posibilidades en su trabajo.

Una vez más queremos agradecer el esfuerzo y dedicación que han puesto en este cuadernillo cualificados especialistas tanto de nuestro Instituto como de otros organismos y centros, y que están poniendo de manifiesto un trabajo eficaz y útil para la sociedad española que es a quien en definitiva tratamos de atender desde nuestros puestos.

Madrid, enero de 1993.

ÁNGEL ARÉVALO BARROSO

Director General  
del Instituto Geográfico Nacional



# ATLAS NACIONAL DE ESPAÑA

SECCIÓN II

GRUPOS 5 y 6

## GEOLOGÍA Y RELIEVE

### ÍNDICE

CONTENIDO	PÁG.
Texto explicativo grupo 5 (Geología) .....	5.1-V
Mapa geológico .....	5.2-3
Mapa tectónico .....	5.4-5
Perfiles .....	5.6-7
Texto explicativo grupo 6 (Relieve) .....	6.II-V
La representación del relieve .....	6.2-3
El sombreado .....	6.4-5
Imagen espacial .....	6.6-7
Mapa de pendientes .....	6.8-9
Geomorfología .....	6.10-11
Modelo digital del terreno .....	6.12-16



## Geología de España

La mayor parte del territorio de España está integrado, junto con Portugal, en la unidad geográfica de la Península Ibérica. También comprende un conjunto de terrenos insulares como las islas Canarias, las Baleares y otras islas, así como las localidades de Ceuta y Melilla, situadas en el norte del continente africano.

Dentro del marco geotectónico global, los terrenos peninsulares, las islas Baleares e islas Columbretes se encuentran en la Placa Eurasiática, mientras que los restantes territorios están ubicados en la Placa Africana.

En España, pueden delimitarse varias grandes unidades superficiales en las que están representados terrenos con características y evolución geológica similares, que generalmente constituyen asimismo unidades con características de relieve peculiares.

Estas grandes unidades corresponden a:

- Terrenos paleozoicos y prepaleozoicos del Macizo Hespérico.
- Terrenos mesozoicos.
- Terrenos terciarios.
- Terrenos cuaternarios.
- Terrenos volcánicos de las islas oceánicas

### Terrenos paleozoicos y prepaleozoicos del Macizo Hespérico

Los materiales paleozoicos y prepaleozoicos se encuentran representados fundamentalmente en el ámbito del Macizo Hespérico, aunque también se encuentran afloramientos de estos materiales en áreas externas al macizo, e implicadas en el Orógeno Alpino, como en algunas unidades internas de las cordilleras Béticas y



Estratificaciones cruzadas en cuarcitas ordovícicas. Nava de la Asunción

Pirineos, y en la cordillera Costero-Catalana y Baleares.

Los materiales más antiguos corresponden al Precámbrico y fundamentalmente están representados en el sector septentrional por series monótonas pizarroso-grauváquicas, variablemente afectadas por el metamorfismo regional. Estos materiales se encuentran discordantes bajo el Cámbrico y su posición estratigráfica dentro del Precámbrico es incierta, aunque la mayor parte de las evidencias conducen a incluirlos en el Precámbrico superior. En la zona central y meridional, la problemática es más compleja y se registra mayor variabilidad. Así, una gran cantidad de los afloramientos precámbricos corresponde al «Complejo Esquisto-Grauváquico», que es una serie monótona azoica, de composición funda-

mental arenoso-pelítica y con intercalaciones subordinadas de calizas, rocas calcosilicatadas y conglomerados. La edad superior de este complejo está considerada como Vendense medio-superior, pero existen imprecisiones en sus límites, y, de hecho, una parte de materiales atribuidos a esta unidad incluyen formaciones de posible edad cámbrica.

En la zona meridional (*Ossa Morena*) se encuentran algunas unidades litoestratigráficas precámbricas de carácter polimetamórfico, posiblemente afectadas por la orogenia Cadomiense, pero su posicionamiento cronoestratigráfico es problemático, aunque se han atribuido al Proterozoico inferior y medio. Se trata de un conjunto de micaesquistos, cuarcitas, neises y anfíbolitas en grado metamórfico medio y alto.

La unidad precámbrica más representativa en este sector es la *Serie Negra*, que está constituida por una sucesión de pizarras y grauvacas con intercalaciones de vulcanitas, anfíbolitas, cuarcitas negras y algún nivel carbonatado. Esta unidad está afectada por metamorfismo epizonal, aunque localmente puede tener un mayor grado metamórfico y encontrarse migmatizada. La edad de esta serie se atribuye al Rifeense medio-superior.

También, en la zona meridional (*Ossa Morena*) se encuentran algunos depósitos volcanosedimentarios de edad Rifeense superior-Vendense situados estratigráficamente por encima de la *Serie Negra*.

En relación con los materiales precámbricos, hay que considerar asimismo un conjunto de formaciones porfiroides y de rocas neísicas de origen volcanosedimentario y/o granítico, que han sido incluidas dentro del conjunto de neises «*Ollo de Sapos*», así como de otros materiales ortoneísicos, que corresponden a episodios magmáticos prehercínicos. La edad de gran parte de estos neises es considerada como Precámbrico superior, aunque hay controversia sobre esta problemática, existiendo dataciones radiométricas que extienden la cronología de estos neises a edades más recientes.

Los materiales cámbricos, se encuentran discordantes sobre los precámbricos, habiéndose detectado esta discordancia en numerosos afloramientos, aunque en algunas ocasiones es de pequeña magnitud y difícilmente observable. Esta discordancia es atribuible a los efectos de la orogenia Cadomiense. Los tramos inferiores del Cámbrico están representados por series detríticas de origen marino constituidas por alternancias de pizarras, grauvacas, areniscas y cuarcitas, que en algunos sectores pueden tener intercalaciones de conglomerados y rocas carbonáticas (*Serie de Candana*). En la zona meridional pueden encontrarse a techo de esta serie episodios volcánicos andesíticos y basálticos. Sobre esta sucesión detrítica se encuentra una serie carbonática, compuesta fundamentalmente por calizas y dolomías de plataforma somera, con niveles detríticos intercalados y que se extiende del Cámbrico inferior al Cámbrico medio. Por encima se encuentra una serie detrítica pizarroso-arenosa de origen marino, que puede estar mal representada o faltar en algunos sectores, y que se asocia en el Cámbrico medio a una intensa actividad volcánica.

En algunos sectores no se observa una interrupción en el ciclo sedimentario entre el Cámbrico y el Ordovícico, encontrándose potentes y monótonas series, compuestas fundamentalmente por pizarras, areniscas y cuarcitas, con algunas



Acantilados en migmatitas. Zona de Vivero (Lugo)



Foto: Ballejo. ITGE

Morfología en granitos de las inmediaciones de El Espinar (Segovia)

intercalaciones margosas volcánicas y cuya edad está comprendida entre el Cámbrico medio y el Ordovícico inferior.

El Ordovícico, según se ha indicado previamente, no presenta discontinuidad de ciclo sedimentario con respecto al Cámbrico en el norte del Macizo Hespérico. Su límite inferior hay que establecerlo en las alternancias pelítico-arenosas de la *Serie de los Cabos*, por debajo de las cuarcitas masivas del Arenig. Por encima de la *Serie de los Cabos* se encuentra una potente formación de pizarras grises (*Pizarras de Luarca*), con intercalaciones de hierros oolíticos y rocas volcánicas básicas, que corresponde a sedimentación en un medio marino subsidente. Esta formación tiene una edad Ordovícico medio. En tránsito gradual sobre ella se encuentra una sucesión turbidítica pelítico-arenosa (*Formación Agüeira*), que tiene edad Ordovícico medio-superior (*Caradoc*).

En la zona central, el Ordovícico inferior está constituido por una alternancia de areniscas y pizarras con intercalaciones de conglomerados, que presenta tránsitos graduales a las cuarcitas masivas del Arenig y que corresponde a sedimentación marina costera. En esta zona, el Ordovícico inferior es discordante sobre el Cámbrico, el Precámbrico y el «*Olo de Sapo*». El Ordovícico medio y superior está representado por alternancias de pizarras, grauvacas, cuarcitas y algunos niveles calcáreos y dolomíticos.

En la zona meridional (*Ossa Morena*) el Ordovícico inferior comienza con materiales detríticos (conglomerados y areniscas) de edad arenigiense superior.

Las series del Silúrico, son bastante homogéneas a través de todo el Macizo Hespérico, y están fundamentalmente representadas por pizarras negras con algunas intercalaciones de cuarcitas, pudiendo encontrarse en la zona central (*Sinclinal de Almadén*), intercalaciones volcánicas básicas. Los límites de las sucesiones silúricas son, en ocasiones, difíciles de establecer, encontrándose algunas formaciones de cronología imprecisa Silúrico-Ordovícico en la mitad meridional del Macizo Hespérico, constituidas por alternancias de pizarras y cuarcitas, o de pizarras, liditas, areniscas y calizas.

El Devónico en la zona Cantábrica, está representado por una alternancia de sedimentos carbonáticos y terrígenos (areniscas y pizarras), que corresponden a un área de plataforma, próxima a un umbral emergido. El límite con el Silúrico es impreciso y consiste en una alternancia de materiales terrígenos y pizarrosos.

En la Zona Asturoccidental-Leonesa y en la Centro-Ibérica, los afloramientos devónicos son

escasos y poco importantes. Parece ser que la sedimentación silúrica de pizarras negras, cambió a condiciones de sedimentación carbonatada en el tránsito Silúrico-Devónico, que prosiguió durante el Devónico inferior, faltando los registros correspondientes al Devónico medio y superior. En la Zona Centro Ibérica —en el Sinclinal de Almadén— se encuentra una secuencia de pizarras, areniscas y calizas, y que abarca desde el Siegiense superior hasta Givetiense, existiendo materiales volcánicos intercalados en la región de Almadén.

En la zona meridional (*Ossa Morena*) se encuentran un Devónico inferior con pizarras y areniscas ferruginosas, un Devónico medio mal definido y un Devónico superior constituido por una serie turbidítica grauváquico-pelítica, que realmente corresponde al tránsito Devónico-Carbonífero inferior.

También en la zona septentrional del Macizo Hespérico, hay series turbidíticas sinorogénicas, que marcan el comienzo de la Orogenia Hercílica y se sitúan en una etapa Devónico superior-Carbonífero inferior.

En la Zona Surportuguesa, el Devónico está representado por depósitos de cuenca somera, constituidos por una alternancia de pizarras y cuarcitas con alguna intercalación de calizas o calcoesquistos. En el tránsito Devónico-Carbonífero se encuentran depósitos de plataforma somera constituidos por pizarras, cuarcitas y grauvacas, con volcanitas asociadas y que se corresponden a un régimen transtensivo.

El depósito de los materiales carboníferos, es esencialmente contemporáneo con el desarrollo de la Orogenia Hercílica, aunque los movimientos iniciales en las zonas más internas del orógeno, comenzaron en el Devónico superior o incluso medio. El ciclo carbonífero bien desarrollado, se restringe a los extremos nororiental y suroccidental del Macizo Hespérico (zonas Cantábrica y Surportuguesa).

El Carbonífero pre-Estefaniense, en la mayoría de las zonas se restringe a sucesiones de carácter turbidítico. En *Ossa Morena*, los depósitos carboníferos turbidíticos de edad Tournaisiense superior a Namuriense inferior, están acompañados en diversas áreas por actividad volcánica de carácter bimodal. También se encuentran materiales carboníferos en la zona axial pirenaica, en el Sistema Ibérico y en la cordillera Costero-Catalana.

En la cordillera Cantábrica, el Tournaisiense y el Viseense están representados por pizarras y calizas de sedimentación pelágica, cambiando las condiciones de sedimentación en el Namuriense, en el que dependiendo de las zonas, co-

mienza la sedimentación de materiales turbidíticos sinorogénicos. Durante el Westfaliense, las condiciones corresponden, según las regiones, a ambientes parállicos con depósitos de carbón, o ambientes marinos, con sedimentación detrítica sinorogénica, de carácter conglomerático y turbidítico.

En este sector, durante el Estefaniense, se producen depósitos molásicos continentales, con sucesiones detríticas con capas de carbón, que proceden de la erosión de la Cadena Hercílica. Este tipo de depósitos es prácticamente generalizable para el Macizo Hespérico en esta edad, aunque su cronología según las distintas cuencas puede extenderse desde el Westfaliense hasta el Pérmico inferior. También en algunas de ellas puede registrarse actividad volcánica de carácter básico o intermedio.

Dentro de los terrenos del Macizo Hespérico, se encuentran una serie de materiales de procedencia exótica y que corresponden a complejos alóctonos. En la zona meridional, estos materiales corresponden al Grupo del «*Pulo do Lobo*», en el que están integrados un complejo ofiolítico, y una serie de formaciones detríticas de carácter turbidítico, con intercalaciones volcánicas. Estos materiales tienen unas edades comprendidas entre Silúrico y el Carbonífero inferior.

En la zona noroccidental, los complejos alóctonos corresponden a las unidades incluidas dentro del *Dominio Esquistoso de Galicia-Tras os Montes*. En ellos, se encuentran metasedimentos esquistosos y grauváquicos, neises, mármoles, anfibolitas y metavulcanitas, que tienen una edad imprecisa que fluctúa entre el Precámbrico y el Devónico. También se encuentran implicados materiales procedentes de la corteza oceánica. Estos complejos son los de Malpica-Tuy, Ordenes y cabo Ortegá, además del de Braganza-Moraís, ya en territorio portugués.

Los materiales sedimentarios e ígneos implicados en la Orogenia Hercílica, han sido variablemente afectados por las deformaciones y el metamorfismo asociados a orogenia, y transformados, según las características de los procesos dinamo-térmicos, en diversos tipos de rocas metamórficas (pizarras, metasamitas, esquistos, mármoles, neises, migmatitas...). Estos procesos metamórficos son de carácter plurifacial y polifásico, con un primer episodio de presiones intermedias y una etapa posterior de baja presión, a la que en algunas zonas se asocian intensas migmatizaciones. También esta segunda etapa se relaciona con la intrusión y generación de diversos tipos de rocas graníticas. Asimismo, en relación con la intrusión de las rocas plutónicas hercílicas, se desarrollan aureolas y áreas de

metamorfismo de contacto de diversa importancia.

En algunas unidades geológicas del Macizo Hespérico, se encuentran evidencias de procesos metamórficos previos al ciclo Hercílico. Así, en los complejos alóctonos, algunas formaciones están afectadas por una serie de eventos metamórficos que han ocurrido en etapas prehercílicas, registrándose procesos de altas presiones (ecolíticos o granulíticos) de edades ordovícicas. Estos eventos de altas presiones y temperaturas, son seguidos por otros de más bajas presiones y de grado medio y bajo, en relación con la Orogenia Hercílica y el emplazamiento de los complejos. Estos últimos se superponen a los procesos previos y determinan importantes reajustes y retrogradaciones sobre la mineralogía de los materiales.

Dentro del Macizo Hespérico, y en las áreas peninsulares afectadas por la Orogenia Hercílica, se encuentra un importante cortejo de rocas ígneas, que en su mayor parte corresponden a las manifestaciones plutónicas asociadas a la evolución del orógeno. Este cortejo abarca un amplio espectro de rocas plutónicas cuya variación composicional fluctúa desde granitos hasta rocas ultramáficas. No obstante, la mayoría de las unidades intrusivas y masas batolíticas están integradas por granitos y granodioritas, siendo este tipo de rocas, el que forma la práctica totalidad de los afloramientos en la *Zona Astur-Occidental Leonesa*, *Zona Centroibérica*, *Dominio Esquistoso de Galicia Tras Os Montes*, y en los núcleos paleozoicos de *Pirineos* y de la *Zona Costero-Catalana*.

Al sur del batolito de los Pedroches y en la Zona de *Ossa Morena*, a pesar de seguir siendo las rocas más abundantes los granitos y las granodioritas, son más frecuentes las rocas de carácter más básico, tonalitas y cuarzdioritas, y con carácter más restringido los tipos gabroideos e incluso ultramáficos.

La cronología de intrusión de este conjunto de rocas plutónicas se extiende a lo largo de un amplio período de tiempo que abarca principalmente desde el Carbonífero inferior hasta el límite Carbonífero-Pérmico. Las relaciones de estas rocas con las deformaciones hercílicas son bastante variables, encontrándose desde granitoides afectados por la segunda fase deformativa hasta unidades plutónicas de carácter claramente post-cinemático.

Aparte de este grupo de rocas, en el ámbito del Macizo Hespérico, se encuentran rocas ígneas intrusivas previas al ciclo Hercílico, que pueden estar relacionadas con eventos tensionales con la Orogenia Cadomiense. Dentro de este grupo se encuentran un importante conjunto de ortoneises de composición granítica, así como ortoneises alcalinos y metabasitas, y algunos plutones prehercílicos de la Zona de *Ossa Morena*.

En los complejos alóctonos del Macizo Hespérico, también hay materiales ígneos plutónicos y volcánicos, entre los que se encuentran rocas ultramáficas, gabros y diversos tipos de ortoneises, así como rocas metavolcánicas ácidas y básicas. Parte de estos materiales corresponden a complejos ofiolíticos que representan fragmentos de corteza oceánica, emplazados a favor de los procesos tectónicos hercílicos.

El Pérmico, en sus niveles inferiores, resulta con frecuencia difícil de delimitar con respecto a los depósitos Estefanienses, y está representado fundamentalmente por series detríticas terrígenas, a las que se pueden asociar algunas capas carbonosas y materiales volcánicos. Estas asociaciones, tienen una edad aproximada estefanoautuniense. En el Pirineo, encima de estos materiales se encuentra una unidad en facies Saxoniense formada por conglomerados y areniscas con lutitas y caliches, que tiene intercalaciones volcánicas. Es de edad Pérmico medio-superior.

En las zonas internas de las cordilleras Béticas (*Nevadofilábride* y *Alpujárride*) hay algunas formaciones metasedimentarias (metapelitas, mármoles y metasamitas) con metavulcanitas, de edad permotriásica imprecisa.

Uno de los problemas que se presentan con el Pérmico es el relativo a su individualización respecto a los materiales del Triásico inferior que pertenecen al mismo ciclo sedimentario.

Durante el Pérmico, se registra actividad volcánica en la Península Ibérica, localizándose manifestaciones de dicha actividad en el Sistema Ibérico, zona Pirenaica y en la cuenca del Viar. Estas manifestaciones se extienden desde un período Estefaniense-Pérmico hasta etapas permotriásicas e incluye términos de una asociación volcánica calcoalcalina, y otras posteriores de carácter basáltico alcalino.

## Terrenos mesozoicos

Los materiales triásicos, fuera de las cordilleras Béticas, están representados en facies litológicas del triás germánico, con una facies «Bunt» areniscosa con conglomerados, una facies «Muschelkalk» carbonatada y una facies «Keuper» margoarcillosa y evaporítica. Toda esta serie de materiales, corresponden a depósitos de abanicos aluviales, que evolucionan a medios marinos litorales y a depósitos evaporíticos de cuencas restringidas (marismas) de transición. A ellos, pueden asociarse rocas volcánicas ofíticas, relacionadas con eventos tectónicos distensivos. Estas facies carecen de significación cronoestratigráfica, y en el registro se encuentran representadas desde el Scythiense hasta el No-riense.

En el dominio de las cordilleras Béticas, en el Prebético y en el Subbético, los materiales triásicos están representados por una sucesión de facies detríticas, carbonáticas y lutítico-evaporíticas, asimilables a las descritas para el resto de la Península. En las zonas internas, aparte de las formaciones permotriásicas previamente referidas, se encuentran formaciones metacarbonatadas calcodolomíticas, con intercalaciones de metavulcanitas y evaporitas en el dominio Nevadofilábride. En el Alpujarride hay formaciones metacarbonatadas con metaplitas, a las que se asigna una edad Triásico medio y superior. En el Complejo Maláguide, el Triásico está representado en facies similares a las germánicas, encontrándose asociadas intercalaciones volcánicas.

El Jurásico en la Península, fuera del ámbito de las cordilleras Béticas, está representado en sus tramos inferiores, por series calcáreas y dolomíticas, relacionadas con la transgresión del Lías, que corresponden a medios marinos litorales y de plataforma. En el Jurásico medio, también se depositan principalmente sedimentos calcáreos y dolomíticos, en relación con distintos ámbitos marinos. En las Catalánides, se registran

discontinuidades, siendo incompleta la columna sedimentaria. En el Jurásico superior, en la cordillera Cantábrica, la sedimentación comienza con episodios detríticos transgresivos, que van siendo progresivamente sustituidos por depósitos marinos. En el Sistema Ibérico, se encuentran depósitos calcáreos, registrándose interrupciones en la sedimentación e incluso carstificaciones, instalándose sobre este Jurásico desmantelado, la sedimentación cretácica en facies «Weald». En el área de las Catalánides, sobre la discontinuidad del Jurásico medio, se depositan calizas litográficas marinas del Jurásico medio-superior, y un conjunto dolomítico que puede corresponder al Jurásico superior y al Cretácico inferior.

En el Pirineo Occidental, los depósitos jurásicos, corresponden a medios marinos con facies de plataforma carbonática, registrándose variaciones eustáticas en el Lías y en «Dogger».

En el área de las Béticas, se registra en el Jurásico un evento en el Lías medio, a partir del cual, se define una zona Prebética en la que se produce sedimentación marina somera, con depósitos más profundos en las zonas intermedias, y una zona Subbética con sedimentación marina pelágica con episodios turbidíticos. Entre los materiales de esta zona, se encuentran calizas y margas con radiolarios o series carbonatadas sin margas, pudiéndose hallar intercalaciones de vulcanitas básicas. En las zonas internas (Nevadofilábride y Alpujarride), no está representado el Jurásico, encontrándose calizas marinas de aguas someras en la cobertera del Complejo Maláguide.

El comienzo del ciclo sedimentario cretácico en la Península Ibérica y en las Baleares, es de carácter diacrónico, comenzando con materiales más modernos en el Macizo Ibérico y en las Mesetas. La evolución de este ciclo en el borde de la Meseta y en las cordilleras intermedias, se caracteriza por una ausencia casi total de facies pelágicas, pudiéndose marcar cuatro etapas principales. En la primera etapa se definen una serie de cuencas independientes, con sedimentación continental o de margen marino, sin haberse configurado la cuenca general. A partir del Barremiense superior, se produce una transgresión general que da lugar a sedimentación de plataforma carbonatada. Al final del Aptense comienza una regresión con abundantes aportes terrígenos y extensas áreas de sedimentación continental. Desde el Albienense superior hasta el Turonense se suceden impulsos transgresivos que determi-

nan la formación de una extensa plataforma carbonatada. La última etapa incluye un episodio transgresivo importante, y a partir del Campaniense inferior, se generaliza una importante regresión, que culmina con procesos de sedimentación en cuencas continentales aisladas.

En el área de las Catalánides, el ciclo cretácico se inicia con una macrosecuencia, integrada por calizas de agua dulce y salobre con frecuentes horizontes lateríticos y bauxíticos. Esta macrosecuencia, es seguida por un episodio transgresivo con sedimentación de calizas y margas. En el Cretácico superior, tras la discontinuidad intra-Albienense, comienza una secuencia transgresiva con facies detríticas arenosas (Utrillas), que prosigue con importantes secuencias carbonatadas, y evoluciona a calizas y margas de medios lacustres o salobres.

En el área de Pirineos, la evolución en el Cretácico inferior, se asocia al comienzo del rifting en el Golfo de Vizcaya, con desarrollo según los sectores de facies de tipo «Weald» o brechas y depósitos calcáreos de plataforma. En el Albienense-Campaniense comienza la sedimentación turbidítica flischoide, relacionada con el desarrollo del Orogénico Alpino. Posteriormente, las condiciones sedimentarias evolucionan según las zonas a series rojas continentales, a arenas litorales o a margas turbidíticas de talud.

En el dominio de las cordilleras Béticas la evolución cretácica es bastante compleja y variable según las zonas. Así en el Prebético externo, el Cretácico inferior, está representado por materiales arenosos y el superior por dolomías y calizas, mientras que en el Prebético interno, en el tránsito Jurásico-Cretácico corresponden a condiciones de fuerte subsidencia. Los depósitos del Cretácico inferior presentan gran variabilidad y fluctúan desde continentales a marinos de plataforma. En el Cretácico superior los sedimentos evolucionan desde arenas a carbonatos marinos someros. En el dominio Subbético, los depósitos del Cretácico inferior, corresponden a alternancias de calizas y margas pelágicas que pueden formar secuencias turbidíticas. El Cenomaniense es bastante similar al Cretácico inferior, siendo frecuente en este ámbito una laguna estratigráfica en el límite Cretácico-Terciario. En las zonas internas, el Cretácico sólo aparece en la cobertera del Complejo Maláguide, donde está representado por calizas con intercalaciones areniscas y margas, culminando localmente en series calcáreas, que abarcan desde el Albienense al Cretácico superior.

## Terrenos terciarios

En el Terciario, los ciclos paleógenos, presentan una evolución relativamente compleja y bastante individualizada en las distintas cuencas y áreas paleogeográficas. Así, en la cuenca del Duero, el Paleógeno inferior comienza con el desarrollo de costras ferralíticas, y posterior generación de facies detríticas fluviales de climas cálidos e hiperhúmedos. Durante el Eoceno-Oligoceno, la sedimentación corresponde a medios fluviales de clima cálido y húmedo.

En la cuenca del Tajo, la sedimentación, está representada por depósitos de abanicos aluviales de clima húmedo, con intercalaciones de calizas de ámbito palustre. Estos materiales pertenecen a un episodio comprendido entre el Cretácico terminal y el Mioceno inferior.

En la zona al norte y al noreste de Madrid, se encuentran depósitos brechoides calcáreos y calizas tobáceas de edad finicretácica, que marcan el comienzo del ciclo Paleógeno. Los sedimentos posteriores, se asocian a distintos ámbitos de medios fluviales, que generan desde materiales detríticos gruesos, a lutitas calizas y evaporitas de llanuras distales y lagos-playa salinos.

En la cuenca de Madrid, el Paleógeno, tiene facies terrígenas con discordancias progresivas locales, mientras que en la Sierra de Altomira, está representado por arcillas y margas que pasan a sedimentos areniscos a techo.

En la cuenca del Ebro, este ciclo está condicionado por la formación de los surcos pirenaicos, y tienen lugar dos episodios marinos previos a la individualización de las cuencas de Aquitania y del Ebro. Estas transgresiones, tuvieron lugar en el límite Cretácico-Paleógeno y en el Eoceno medio-superior, produciéndose en este último, según las áreas, sedimentación de abanicos aluviales procedentes de los Pirineos, que pasan a depósitos deltaicos y de plataforma. Episodios regresivos subsiguientes, dan lugar a la formación de las cuencas salinas potásicas de Navarra y Cardona. Posteriormente durante el Oligoceno, se produjo el relleno por grandes masas molásicas y desplazamiento de mantos, y los movimientos finioligocenos provocan discordancias y condicionan los diapiros generados en estas cuencas.

En el área de las Catalánides, en el Paleógeno, se produce una importante sedimentación conglomerática sinorogénica, con discordancias progresivas.

En las Zonas Béticas, en el tránsito Cretácico-Paleógeno ocurren importantes cambios, que se intensifican en el Eoceno. Así, en los dominios más externos, se producen emersiones, mientras que en el interior hay un sistema complejo de cuencas y umbrales, en relación con los esfuerzos orogénicos, que determina la existencia coetánea de sedimentación turbidítica y erosión, durante el Oligoceno se equiparan las condiciones, y hacia finales del ciclo se extienden las áreas emergidas.

En el área Prebética, el Prebético externo está emergido, y sólo se depositan materiales marinos (calizas, areniscas y margas) en el Prebético interno. Durante el Eoceno superior y el Oligoceno inferior, hay emersión en gran parte de esta zona, registrándose sedimentación detrítica roja continental en el Oligoceno superior.

En el dominio Subbético, el Paleógeno, está representado por sedimentos marinos discontinuos y frecuentemente turbidíticos (calizas, margas, areniscas).

En las zonas Béticas internas, la sedimentación se restringe a la cobertera mesozoico-terciaria. El Eoceno, cuando está presente, es transgresivo y está representado por calizas y margas. La transgresión eocena inferior, no afecta a todo el dominio Maláguide y a lo largo del Eoceno, las condiciones de la cuenca varían de somera a hemipelágica. En el Eoceno superior y hasta el Aquitaniense, se registran importantes aportes terrígenos, procedentes de la erosión del propio dominio.

Las unidades del Campo de Gibraltar, son unidades tectosedimentarias con predominio de sedimentación flischoide y presencia de olistos-



Vicente Gabaldón. ITGE

Pliegues de deslizamiento en el Aptense de la cuenca Vasco-Cantábrica

tromas, y su datación se extiende desde el Cretácico inferior al Mioceno inferior.

La *Formación de Arcillas con Bloques* del occidente de las Béticas, se atribuye al desmantelamiento del Triásico y tiene una posible edad Burdigaliense.

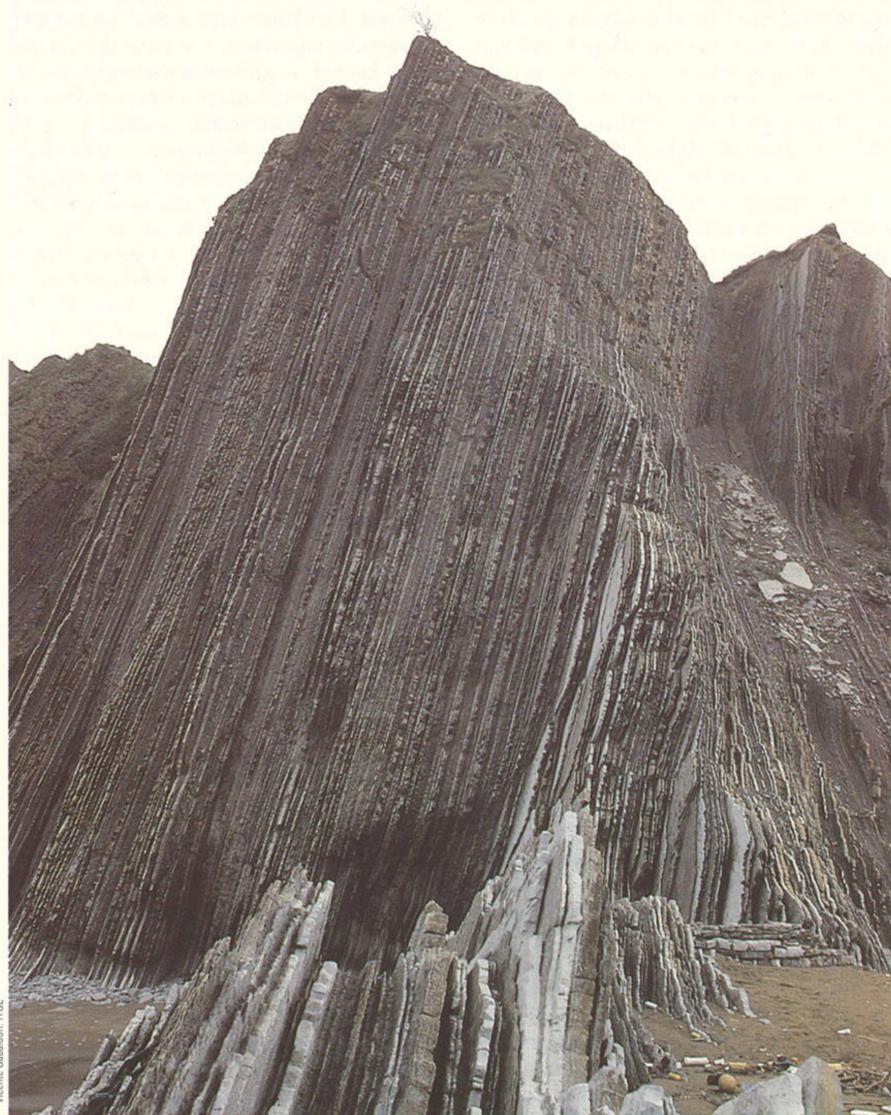
En las Baleares, se registra una emersión en el Paleógeno inferior, encontrándose depósitos dispersos de edad Eoceno medio y superior de facies marinas (calizas y margas arcillosas), que se indentan con depósitos salobres o lacustres con carbón. La sucesión marina, abarca hasta el Oligoceno, y los depósitos se restringen a las islas de Mallorca y Cabrera. En Ibiza hay, sobre el Cretácico, conglomerados continentales que pueden ser Oligocenos.

En el ciclo Neógeno, en la cuenca del Duero, la sedimentación se caracteriza por una confluencia centrípeta de las orlas aluviales marginales hacia el centro de la misma. A finales del Mioceno inferior, finaliza el plegamiento de los macizos que circundan a la cuenca. Durante el Mioceno medio y el Vallesiense, el relleno corresponde a abanicos aluviales y la sedimentación culmina con depósitos lacustres, entre los que se encuentran las calizas inferiores del Páramo, a finales del Mioceno o inicios del Plioceno. Posteriormente, se registra otro ciclo sedimentario fluvial Villafranquiense, que concluye con depósitos lacustres (calizas superiores del Páramo).

En la cuenca intramontañosa del Bierzo, los depósitos inferiores corresponden a rellenos fluviales y lacustres (conglomerados a dolomías) con rellenos posteriores de conglomerados y areniscas. La evolución de la cuenca cambia y se individualiza del resto de la Meseta con la creación de relieves que condicionan la formación de pequeños abanicos aluviales.

En la Meseta meridional, el Mioceno medio y superior puede agruparse en tres grandes unidades. La unidad inferior es discordante sobre los depósitos previos, y está constituida por varios sistemas de abanicos aluviales, que cambian gradualmente a facies evaporíticas en el centro de la cuenca.

La unidad intermedia, tiene un límite inferior definido por una discontinuidad. Está constituida por areniscas, conglomerados y areniscas groseras y arcillas de abanicos aluviales que evolucionan a medios lacustres y palustres, con depósitos de lutitas, sepiolitas, y carbonatos con sílex y sulfatos.

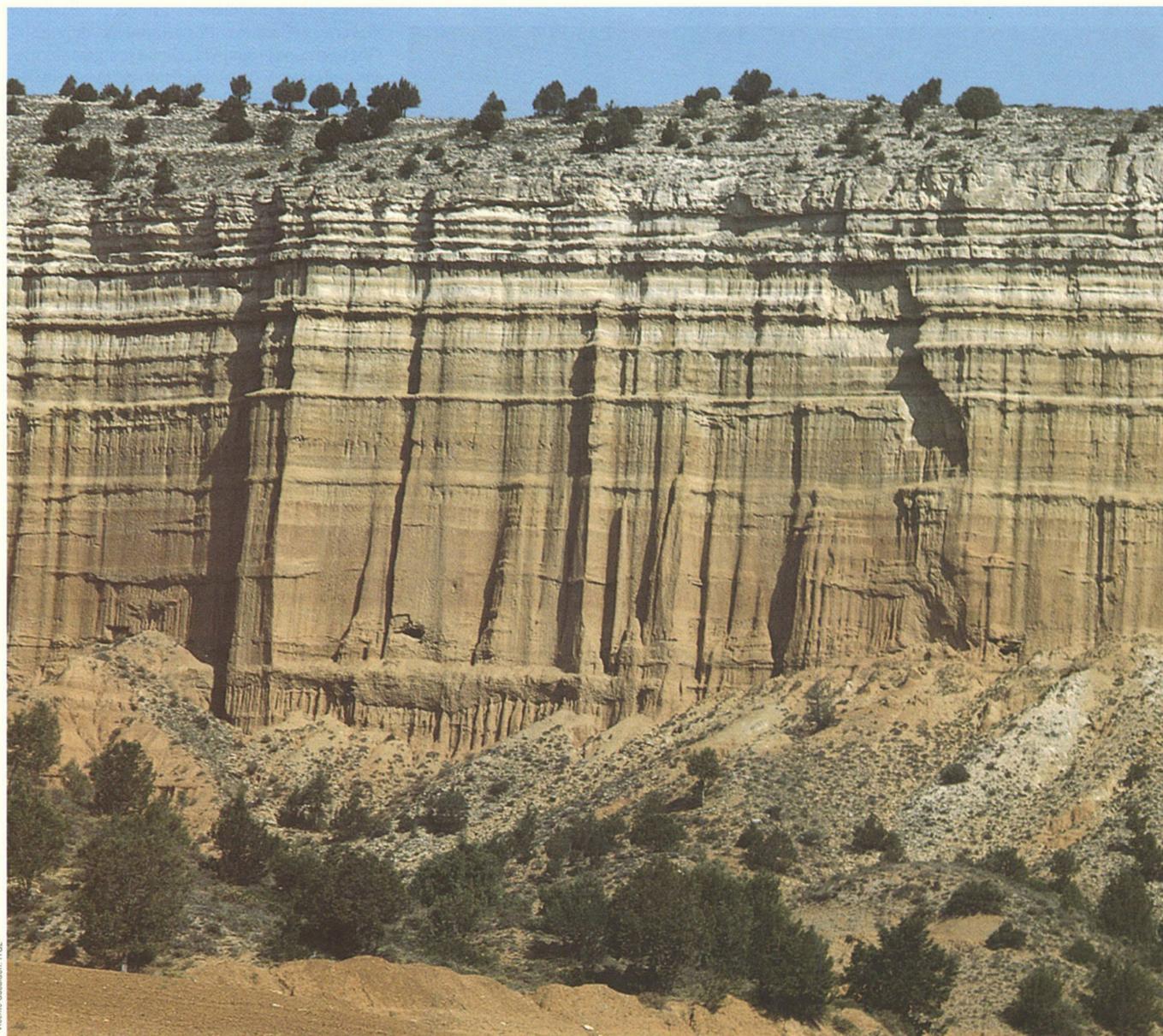


Turbiditas del Eoceno. Playa de San Telmo, Zumaya (Guipúzcoa)

La unidad superior, está bien representada en el este y noreste de la cuenca y sus sedimentos corresponden a una red fluvial, con depósitos variables según la posición de la cuenca. El tramo superior de esta unidad está representado por carbonatos lacustres y palustres.

Los materiales pliocenos de la cuenca, se encuentran en discordancia erosiva y corresponden a depósitos detríticos con arcillas, limos y conglomerados, y al desarrollo de costras y encalchamientos.

En la cuenca del Tiétar, el relleno neógeno, corresponde a materiales fluviales eminentemente detríticos y tiene una posible edad Aragoniense.



Facies continentales (abanico aluvial en la base y lacustre en la parte superior) del Mioceno de Las Muelas (Teruel)

En la depresión intermedia, entre la Serranía de Cuenca y Altomira, los sedimentos son de abanicos aluviales húmedos con episodios lacustres terminales.

En la cuenca del Cabriel los depósitos son fluvio-lacustres, con calizas a techo del Mioceno terminal.

En la cuenca del Júcar, hay gran abundancia de sedimentos palustre-lacustres, en tránsito a depósitos más detríticos hacia la llanura manchega.

En la llanura manchega, la sedimentación terciaria es de poca entidad, y está representada por materiales fluvio-lacustres que pueden estar relacionados con episodios volcánicos en la zona de Ciudad Real.

Para las cuencas terciarias extremeñas, la sedimentación corresponde en general a cuencas fluviales endorreicas, con desarrollo de abanicos aluviales y depósitos lacustre-palustres.

La situación en las Béticas en el Terciario superior, es bastante compleja, y depende de los dominios. En el Prebético externo, el Mioceno inferior, es marino, y discordante sobre los materiales previos y el Burdigaliense medio, es discordante sobre el Mioceno inferior.

En el Prebético interno, el Mioceno inferior y medio corresponde a la transgresión Aquitanienense y está representado por calizas, arenas y margas marinas estando afectado este conjunto por el plegamiento. Los materiales del Mioceno medio son discordantes sobre el anterior y también están plegados. Los sedimentos son margas arenosas turbidíticas.

En el Subbético, las series del Mioceno inferior y medio, están representadas por afloramientos dispersos y están afectados por el plegamiento del Mioceno medio.

En el Maláguide, se encuentran materiales postorogénicos del Mioceno inferior y medio. La última fase de compresión importante se registra a finales del Mioceno medio.

En el Mioceno superior, en los surcos y depresiones se acumulan materiales detríticos gruesos, marinos y continentales, y en el Tortoniense Superior, la subsidencia ocasionó deslizamientos olistotrómicos en la cuenca del Guadalquivir.

En el Mesiniense, se registra sedimentación fina en medios marinos y continentales salobres en la cuenca del Guadalquivir, produciéndose depósitos de margas y arenas calcáreas.

Durante el Plioceno se producen movimientos en la vertical que determinan una discordancia intrapliocena en las áreas béticas.

En los Pirineos Orientales, durante el Neógeno, existe una alineación de fosas en el Alto Urgell, que se rellenan con materiales detríticos rojos.

En la Fosa del Ampurdán los depósitos corresponden a materiales detríticos aluviales, con volcanismo Mioceno-Cuaternario y recubrimiento Plioceno marino.

En el Vallés-Penedés y Reus Vals, hay apertura al mar, registrándose sedimentación marina en el Mioceno, sincrónica con sedimentos continentales. Asimismo, se produce una fuerte restricción del ámbito marino en el Plioceno.

En el Bajo Ebro, sobre los conglomerados paleógenos, se encuentran potentes series marinas del Plioceno, con facies lacustres a techo, que hacia el norte son reemplazadas por conglomerados aluviales.

En el Mioceno, la sedimentación en la parte catalana de la cuenca del Ebro ha cesado, pero la sedimentación es muy activa en la parte central aragonesa y en los surcos de Navarra y Rioja.

Al terminar el Mioceno, el surco sedimentario se desplaza al cauce medio del Ebro. Se forman extensas superficies de erosión y termina el depósito de los últimos carbonatos en Aragón y la Bureba, siendo posible que a partir de este momento se abra la cuenca al mar, ya que cesa la sedimentación de evaporitas.

En el sector navarro, los materiales corresponden a depósitos detríticos molásico-conglomeráticos, con variaciones a otros de facies «playa-lake».

En Baleares el Mioceno inferior-medio presenta un ciclo transgresión-regresión, con sedimentos de plataforma seguidos por un pulso transgresivo con turbiditas y depósitos de debris-flow. Hay una regresión posterior Serravallense, que evoluciona determinando desde facies marinas de rampa a depósitos transgresivos de molasas marinas en el Vindoboniense. En el Mioceno superior y en el Plioceno hay sedimentación calcárea.

El ciclo transgresivo Plioceno comienza con depósitos lacustres que evolucionan a calizas planctónicas y de plataforma y a calcarenitas y



PAISAJES ESPAÑOLES

Depósitos fluviales deltáicos cuaternarios. Delta del Ebro

dunas. Estos materiales pliocenos fosilizan suturas erosivas sobre el Mesiniense.

En relación con la evolución postalpina de las cordilleras Béticas, en el sector oriental, en la zona de Almería y Murcia se registran una serie de episodios volcánicos complejos, de naturaleza predominantemente calcoalcalina, aunque también se encuentran manifestaciones volcánicas de naturaleza ultrapotásica y alcalina.

También en otras áreas de la Península Ibérica, en etapas del Neógeno y el Cuaternario, se registra actividad volcánica, principalmente en las zonas de *Campos de Calatrava* y *Olot*. Aunque con menos importancia también se encuentra volcanismo en Cofrentes, y en las islas Columbretes. Este volcanismo es de tipo alcalino y está representado, sobre todo, por rocas basálticas.

### Terrenos cuaternarios

**L**os terrenos cuaternarios, están representados fundamentalmente por áreas de sedimentación ligada a los agentes geodinámicos actuales. Los más relevantes, se asocian a depósitos sedi-

mentarios continentales, relacionados con la red fluvial actual (rellenos de valles, terrazas y depósitos deltaicos). También, en las zonas costeras principalmente, se encuentran depósitos cuaternarios, representados en gran parte por sedimentos de playas actuales, o levantadas y relacionadas con posiciones más antiguas del nivel marino.

Otro tipo de depósitos, de amplia representación areal, pero de escasa entidad a la escala de la cartografía geológica considerada, son los correspondientes a suelos, y los materiales coluvionares asociados a la degradación del substrato rocoso, que en general tienen muy escasa potencia y muy bajo nivel de transporte. Con carácter más restringido, se encuentran depósitos eólicos, glaciares y lacustres.

### Terrenos de las islas Canarias

**U**n capítulo aparte en relación con la Geología de España lo constituyen las islas Canarias, por su particular naturaleza geológica. Estas islas están constituidas prácticamente en su totalidad por materiales volcánicos, y su substrato está formado fundamentalmente por corteza oceánica, aunque en los sectores orientales está parcialmente recubierta por sedimentos marinos. Los sedimentos más antiguos aflorantes en la isla de Fuerteventura, tienen una edad cretácica. Entre el Cretácico inferior y el Terciario medio se registran importantes procesos de extrusión de basaltos submarinos, elevación de los bloques insulares e intrusión de los materiales plutónicos de los complejos basales. Con posterioridad se produjo la emersión y erosión de los bloques insulares, registrándose en el Terciario superior nuevos pulsos magmáticos que han continuado con diversas interrupciones hasta los momentos actuales, y que son los responsables de la construcción de los edificios subaéreos.

El aspecto actual de las islas Canarias, es debido a la suma de la actividad volcánica, tanto en sus aspectos constructivos como destructivos y a los procesos de erosión, siendo escasa la representatividad de los materiales sedimentarios aflorantes.

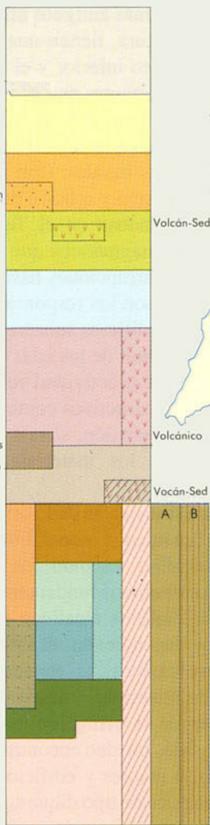
El volcanismo que ha dado origen a estas islas, es de tipo oceánico y, esencialmente, de carácter basáltico-alcalino, estando los materiales más básicos representados fundamentalmente por variedades de basaltos alcalinos y traquibasaltos. También, y dependiendo de las distintas islas y edificios volcánicos, se encuentran cantidades variables de materiales traquíticos y fonolíticos, procedentes de la evolución magmática. Todos estos materiales pueden encontrarse constituyendo coladas, o mantos y edificios piroclásticos, o bien, intrusiones de tipo diques, pitones o pequeñas unidades plutónicas de carácter complejo.



Félix Benito, ITGE

Montaña de Taco. Cono de escorias en la plataforma de Buenavista (Tenerife)

PRECÁMBRICO  
PALEOZOICO  
MESOZOICO  
TERCIARIO  
CUATERNARIO

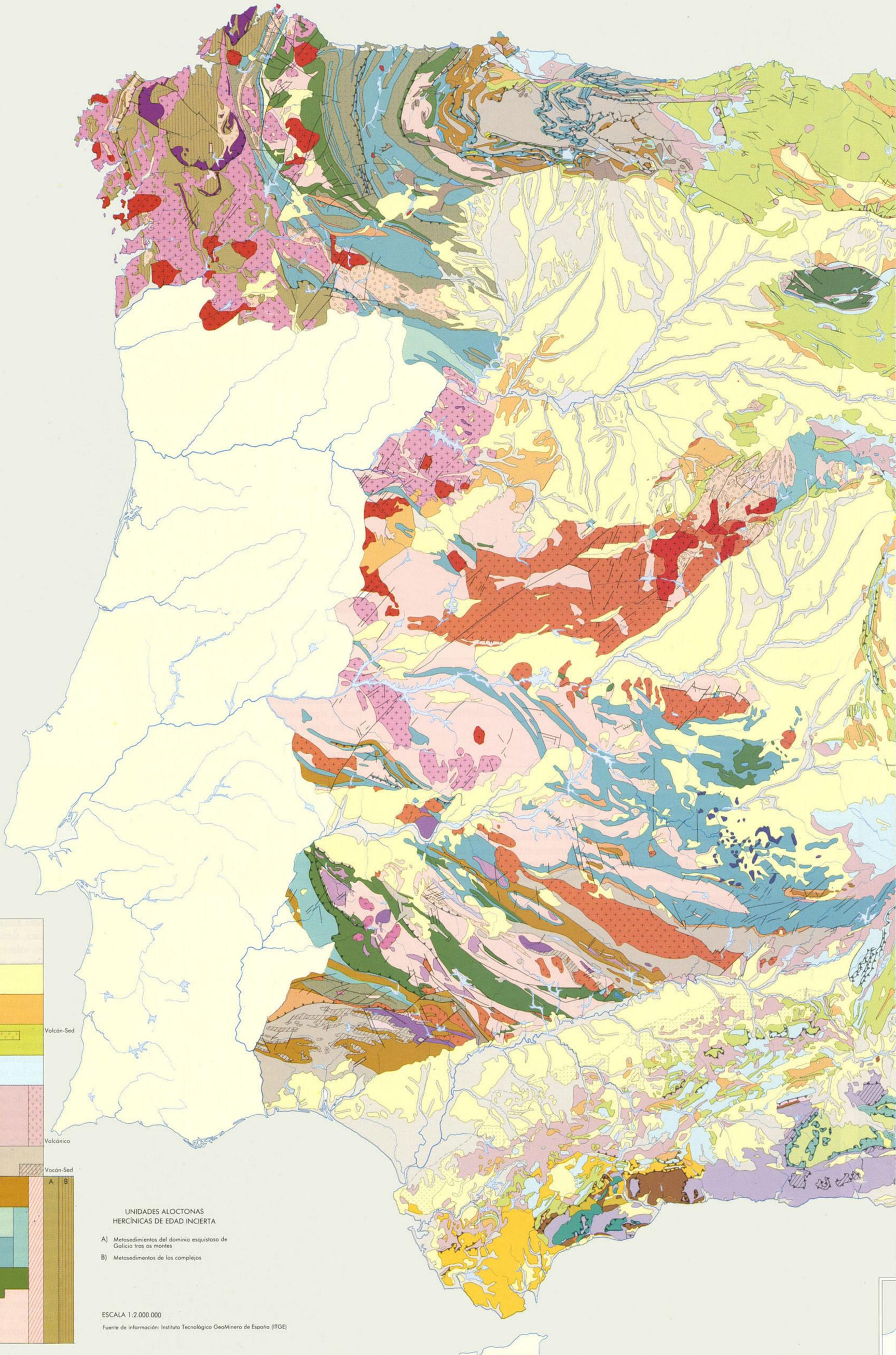


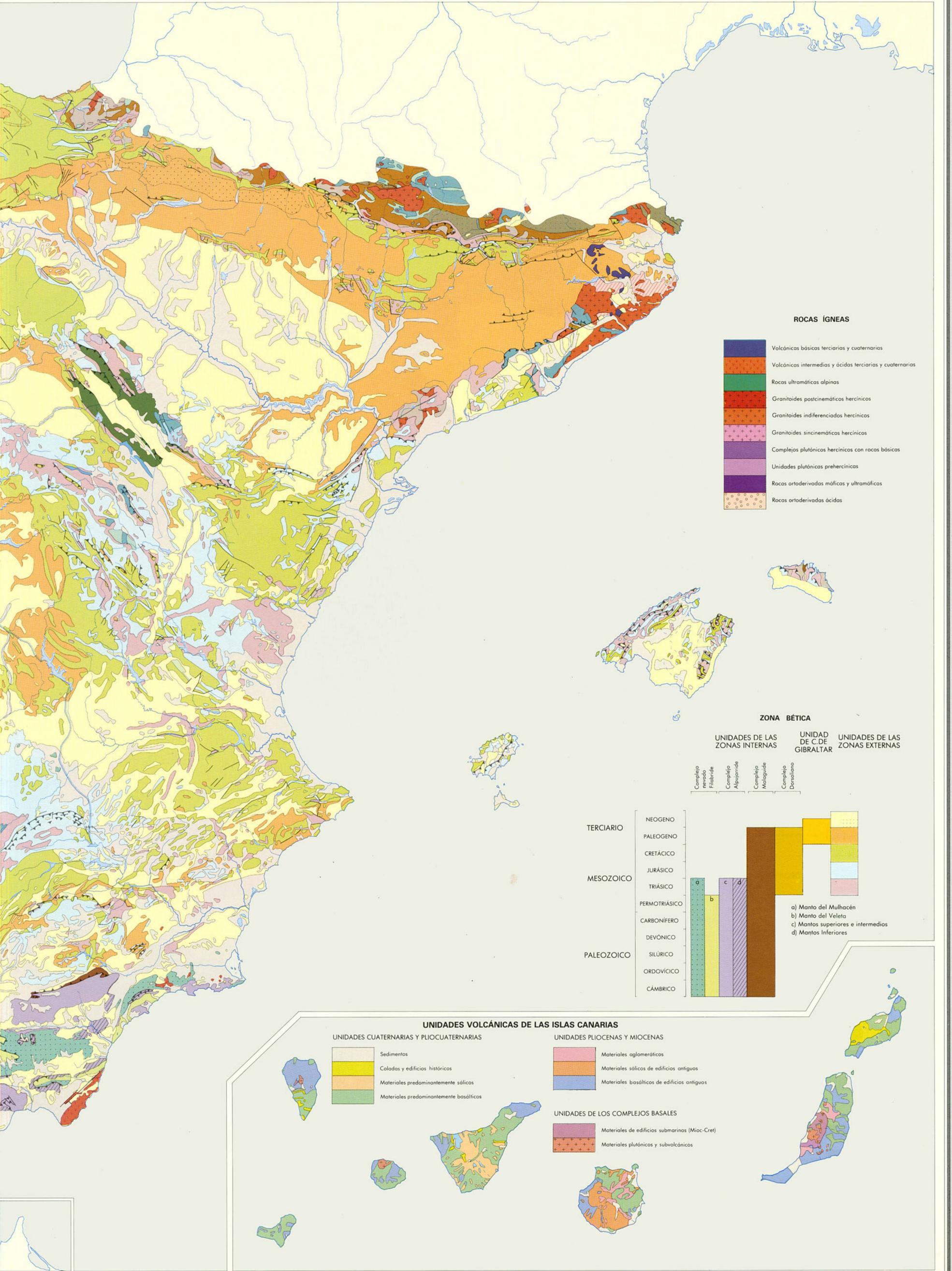
UNIDADES ALOCTONAS  
HERCÍNICAS DE EDAD INCIERTA

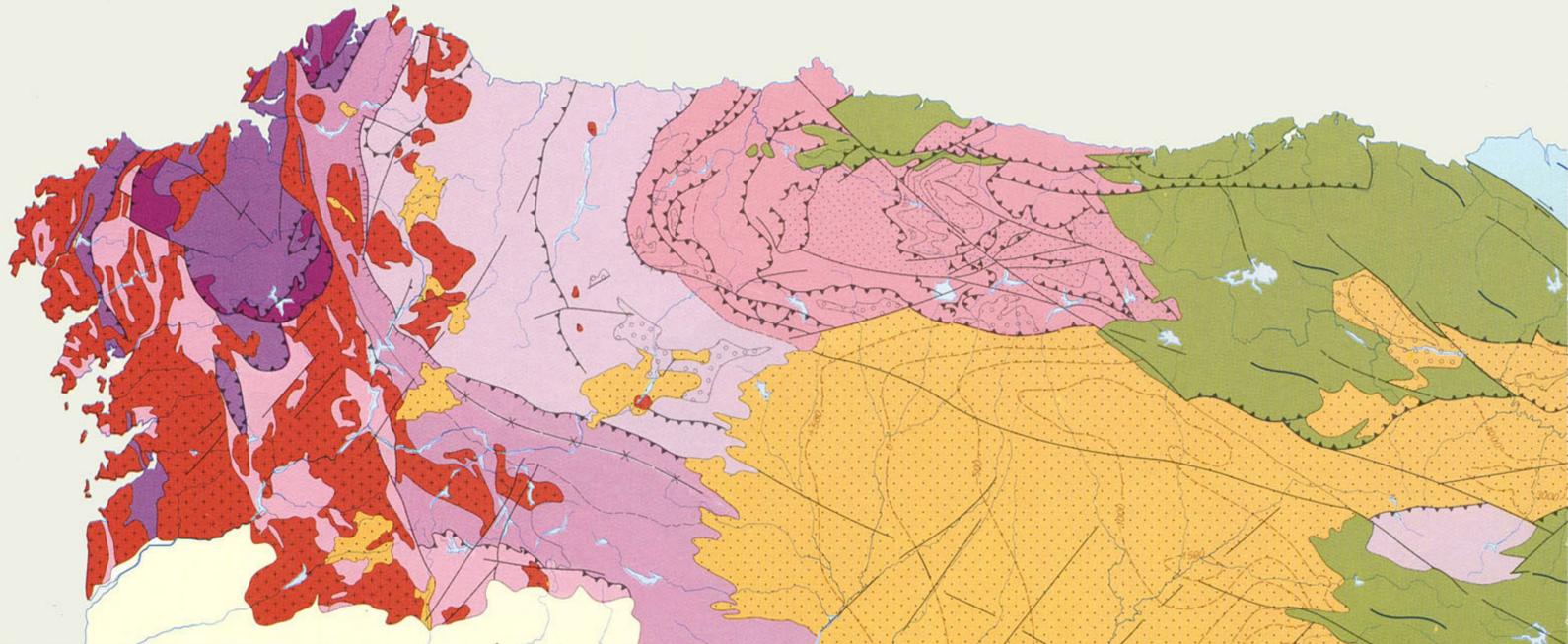
- A) Metasedimentos del dominio esquistoso de Galicia tras os montes
- B) Metasedimentos de los complejos

ESCALA 1:2.000.000

Fuente de información: Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE)







MACIZO HESPÉRICO

- Zona Cantábrica
  - Zona Asturoccidental-Leonesa
  - Dominio esquistoso
  - Unidades exóticas indiferenciadas
  - Complejos Máficos
  - Zona Centro-Ibérica
  - Zona Ossa-Morena
  - Zona Pulo do Lobo
  - Zona Surportuguesa
- } Zona Galicia-Tras-Os-Montes
- Depósitos sin-orogénicos
  - Depósitos en cuencas intramontañosas tardi-orogénicas
  - Rocas Plutónicas Hercínicas

ÁREAS PENINSULARES CON COBERTERA POSTHERCÍNICA NO IMPLICADAS EN LAS CADENAS BÉTICAS O PIRENAICA

- Áreas de cuencas continentales terciarias y con sedimentación continental postorogénica terciaria y cuaternaria
- Áreas de relleno de fosas tectónicas (Subactuales)
- Áreas con sedimentos terciarios sin-orogénicos
- Áreas con cobertura esencialmente Mesozoica

CORDILLERAS BÉTICAS

CUENCAS NEOGÉNAS

- Ligadas a la fhesura del Guadalquivir
- Ligadas a la fhesura del Guadalquivir, con avance de Olistostromas
- Ligadas a las fallas transcurrentes

PREBÉTICA

- Prebética y cuencas neogenas siniformes

ZONAS EXTERNAS

- Con cabalgamientos internos
- Empujada contra el contrafuerte prebético
- Empujada hacia el surco del Guadalquivir

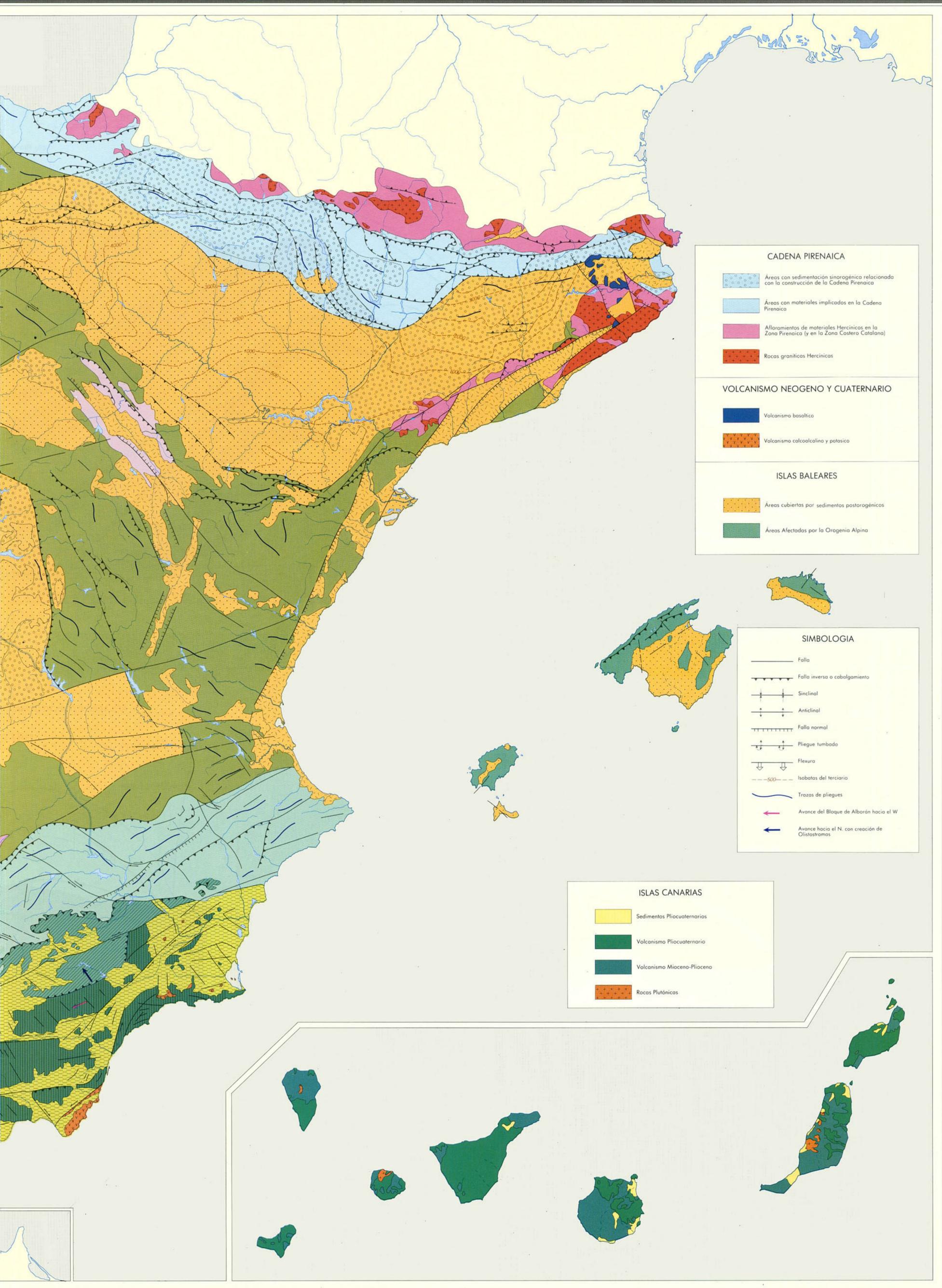
ZONAS INTERNAS

- Flysch Alóctonos de la cuenca Bético-Rifeña
- Zona con evolución precoz en sectores más orientales
- Rocas Ultramáficas

BLOQUE DE ALBORÁN

ESCALA 1:2.000.000

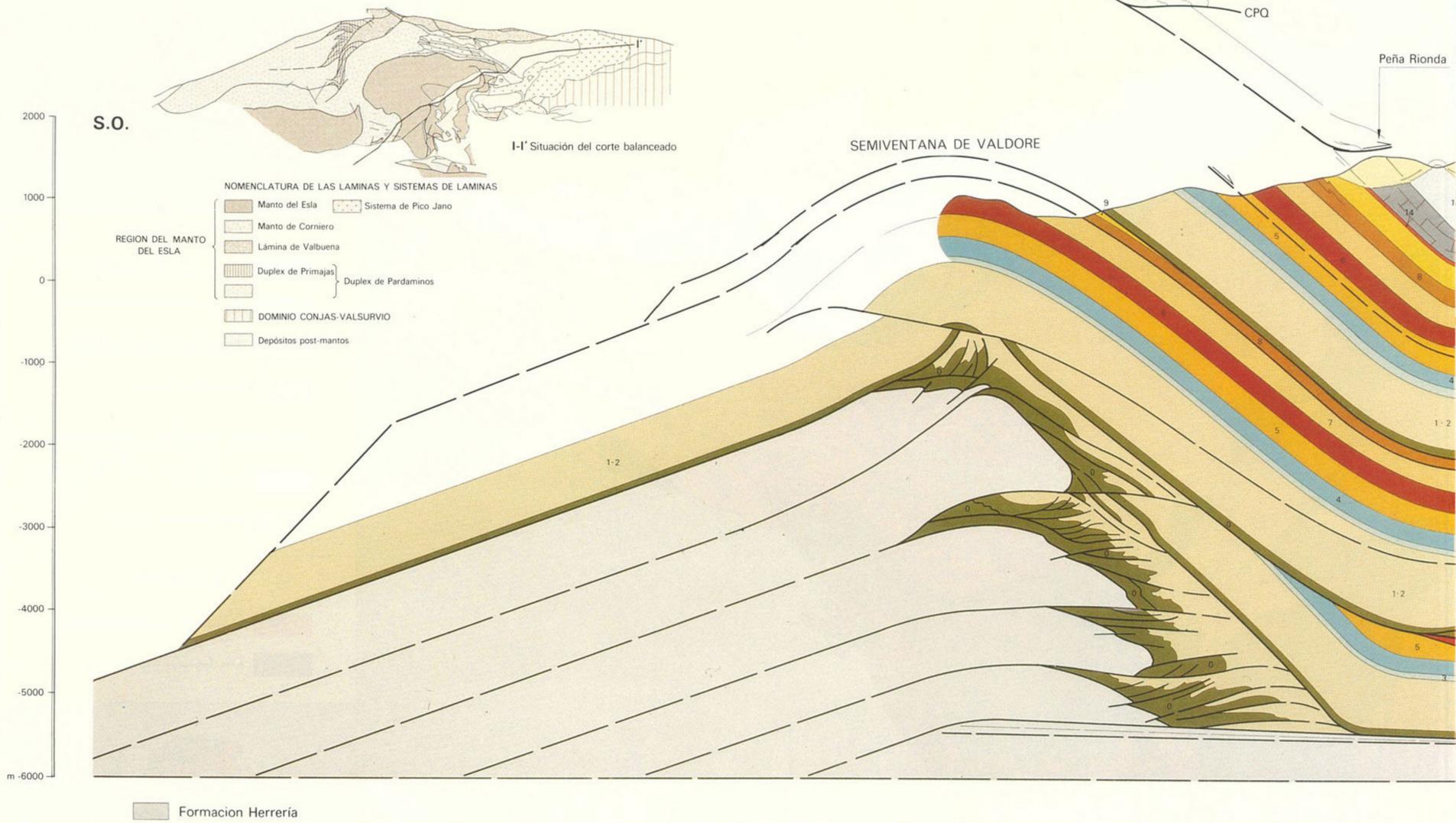
Fuente de información: Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE)  
\* Bases documentales referidas en la memoria



HOJA DE BOÑAR

HOJA DE RIAÑO

CORT



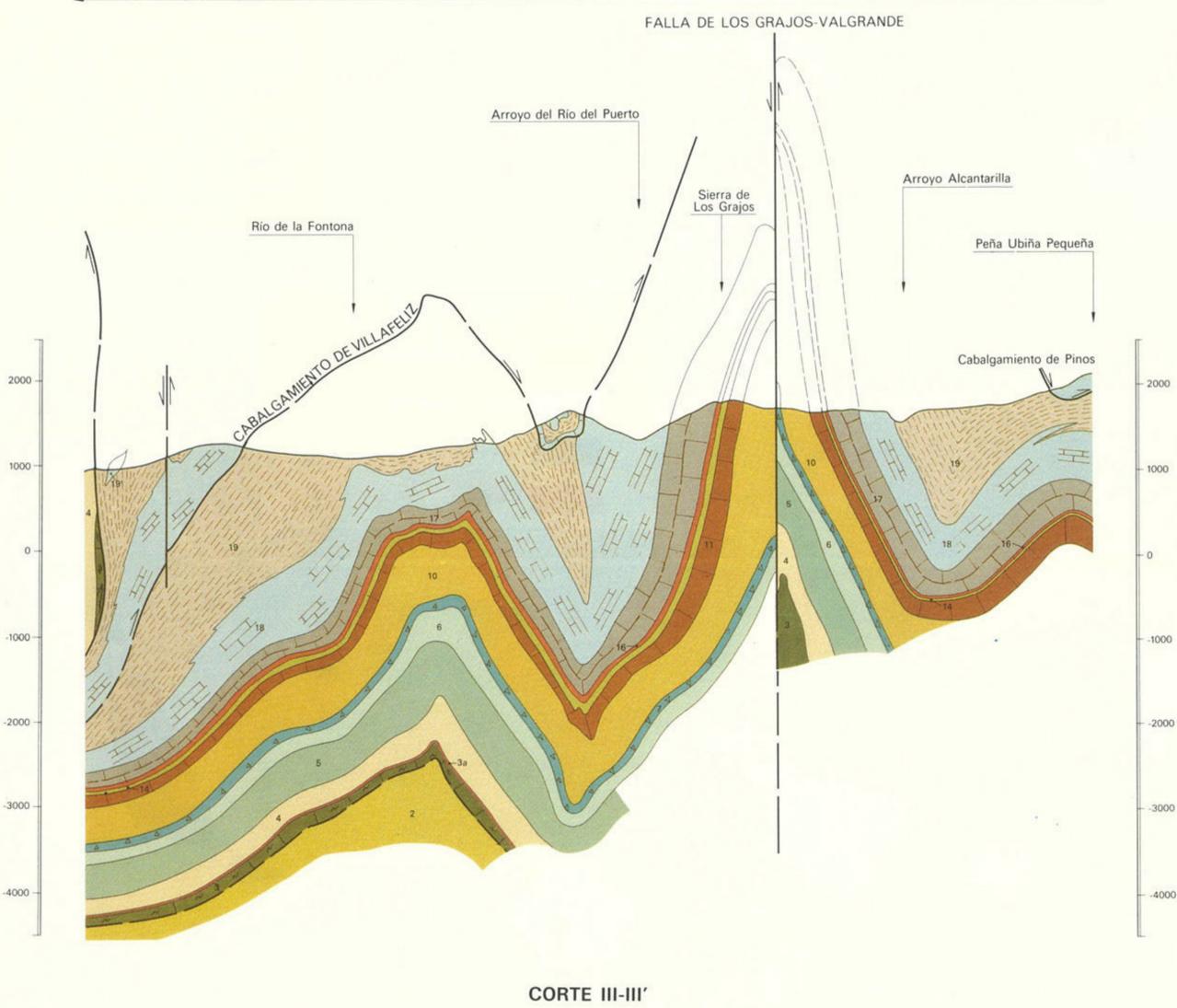
S.S.E.

MANTO

DE

BODON

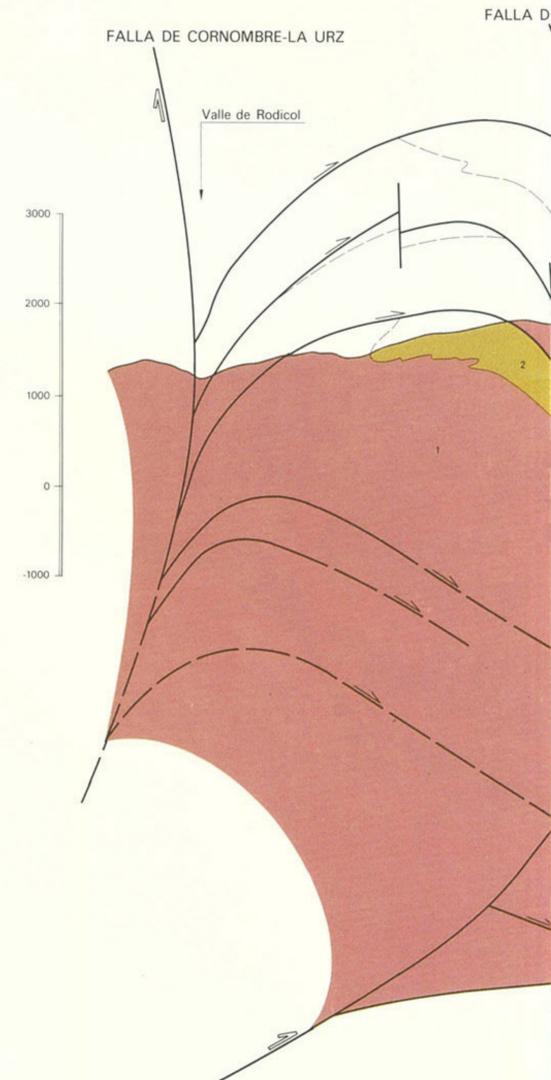
N.NO.



S.S.O.

MANTO

APILAMIENTO ANTIFORMAL D

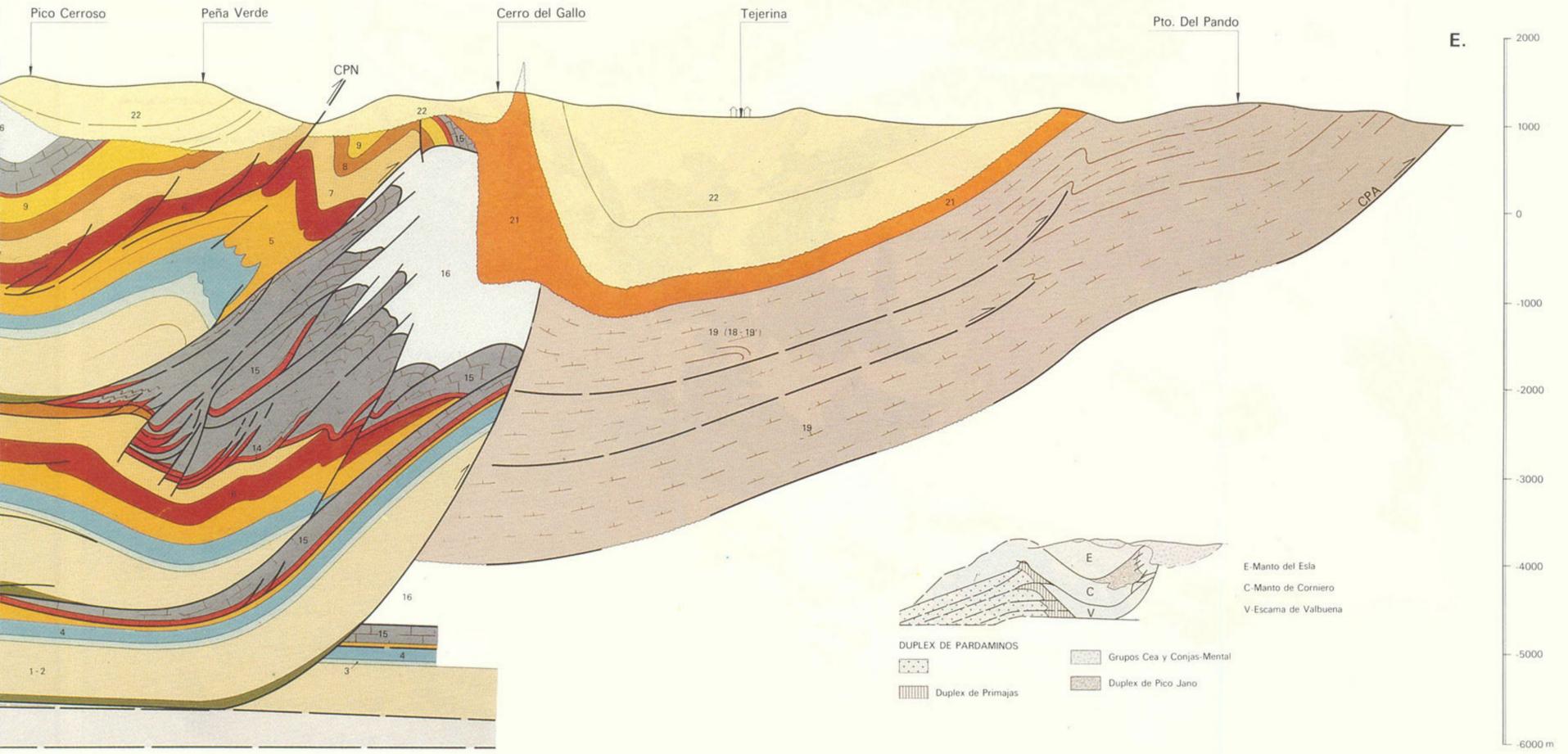


E I-I'

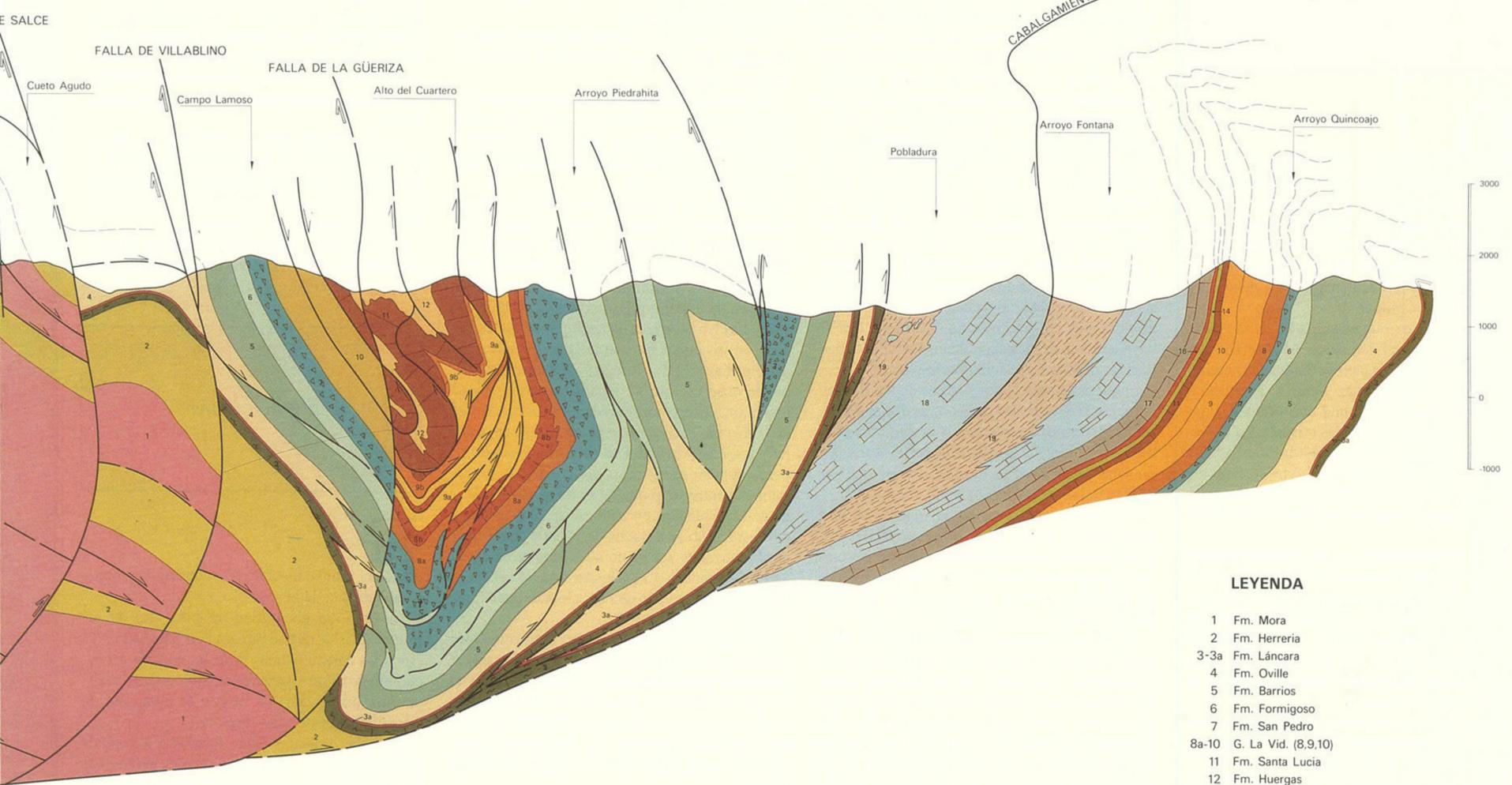
**RIAÑO** 105  
15-7

**LEYENDA**

CORTE I-I'  
 CPQ Cabalgamiento de Peña Quebrada  
 CPN Cabalgamiento de Peña Negra  
 CPA Cabalgamiento de Pando



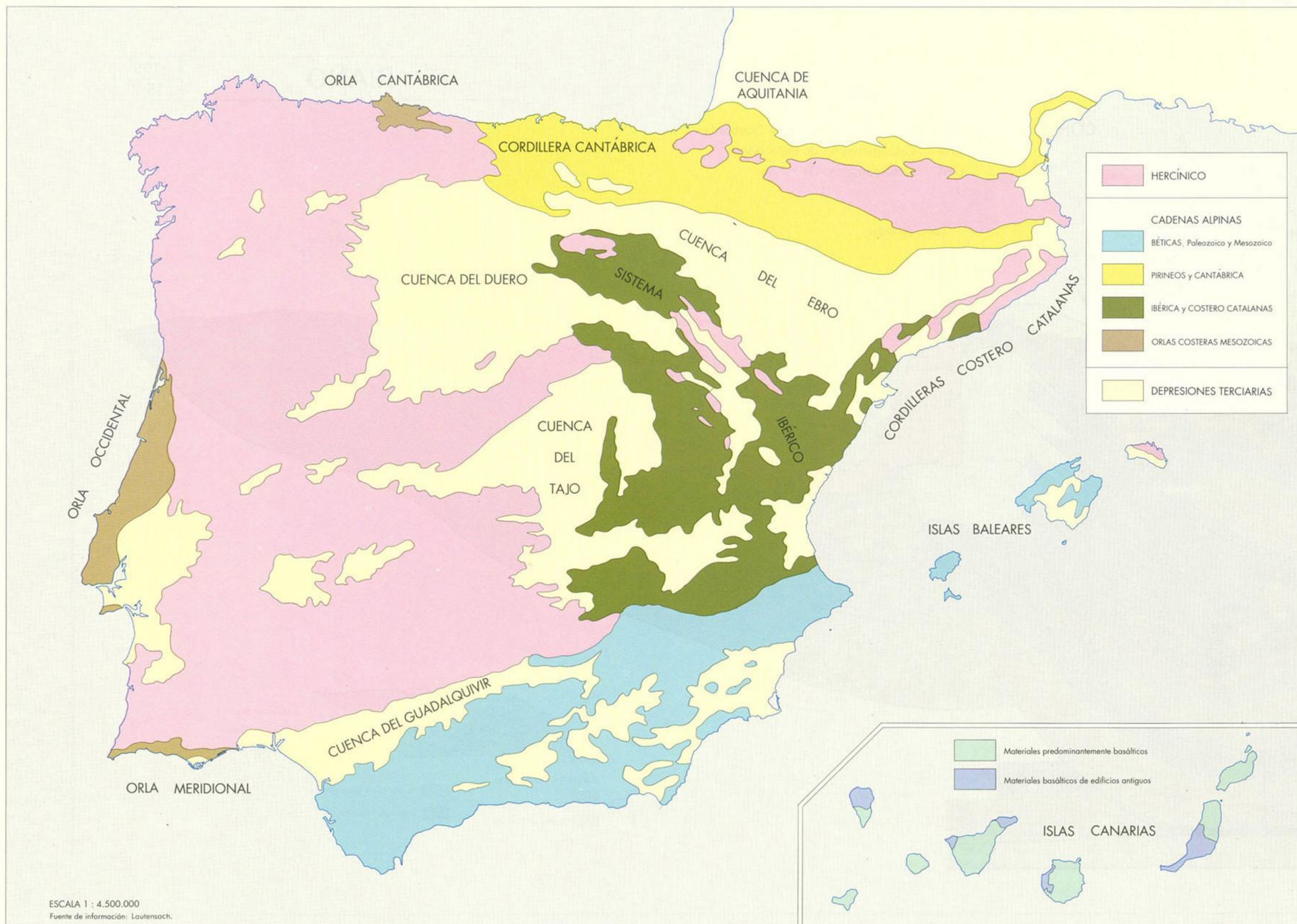
DE VILLABANDIN DE SALCE DE CORRECILLAS MANTO DE ABELGAS-ALBA M. DE ARALLA-ROZO MANTO DE BODON N.NE. CABALGAMIENTO DE VILLAFELIZ



**LOS BARRIOS DE LUNA** 102  
12-7

**LEYENDA**

- 1 Fm. Mora
- 2 Fm. Herreria
- 3-3a Fm. Láncara
- 4 Fm. Oville
- 5 Fm. Barrios
- 6 Fm. Formigoso
- 7 Fm. San Pedro
- 8a-10 G. La Vid. (8,9,10)
- 11 Fm. Santa Lucia
- 12 Fm. Huergas
- 14 Devonico Superior
- 16 Fm. Alba
- 17 Fm. Barcaliente
- 18 Fm. Valdeteja
- 19 Fm. San Emiliano
- ↗ Cabalgamientos de primera generación
- ↘ Cabalgamientos "Fuera de secuencia"



ESCALA 1 : 4.500.000  
Fuente de información: Lautensach.

### El relieve peninsular

De la historia geológica peninsular y la disposición de los materiales, ya comentada en el texto inicial del grupo 5 (Geología), y la disposición de las grandes unidades en torno a una altiplanicie interior a más de 600 m sobre el nivel medio del mar, se acentúan los caracteres de lo que algunos geógrafos han venido a denominar un continente en miniatura.

En el mapa de grandes unidades de la Península Ibérica, según Lautensach, se observan claramente tres espacios bien definidos: El hercínico al oeste; las cadenas alpinas, localizadas preferentemente en la mitad más oriental, y las depresiones adyacentes a las mismas. La geología y la tectónica han constituido la estructura sobre la que las aguas de lluvia se han ido abriendo paso hacia el mar, conformando, junto a otros agentes erosivos, las formas del relieve actual.

El trabajo destructivo de las aguas en la cabecera de los ríos y la escasa distancia que separa la misma de la desembocadura, en el caso de la vertiente cantábrica y mediterránea, incrementado por una fuerte pendiente, y la irregularidad en la distribución de las precipitaciones, hace que el relieve se presente abrupto, y difícil de trabajar por el hombre.

Si hay una característica que diferencie el relieve peninsular español del resto de Europa, ésta es, sin duda, la diversidad.

Como bien se expone en las páginas siguientes dedicadas a la configuración definitiva del relieve, España, por su situación geográfica, presenta unas características diferentes a las de los países del centro de Europa, siendo uno de ellos el de su localización geográfica entre dos mares diferentes, el Atlántico, abierto y de gran-

des dimensiones, y el Mediterráneo, solamente comunicado con el anterior a través de una pequeña abertura que recibe el topónimo adecuado para el caso: *Estrecho* de Gibraltar, y que les permite establecer un intercambio entre las aguas de ambos, que se pone de manifiesto en la diferencia de temperatura de uno y otro lado. La forma, semejante a un cuadrilátero de lados casi iguales, y la disposición de los sistemas montañosos, con una dirección general de oeste a este, excepto el Sistema Ibérico y las Cordilleras Costero-Catalanas, tiene una influencia en el clima, al establecer unas barreras naturales a la penetración de las masas de aire húmedo, procedentes del Atlántico, que atemperarían las temperaturas del interior, en caso de llegar en condiciones óptimas de humedad y temperatura, y que no lo hacen al verse obligadas a ascender para salvar la altura de estas montañas, perdiendo humedad y haciéndose más secas, lo que determina que, en la formación del relieve actual haya tenido una influencia, como se verá en las páginas dedicadas a la geomorfología.

Frente a los recortados perfiles de los fiordos noruegos o a las costas de las otras dos penínsulas mediterráneas, cercenada y desmembrada la helénica y alargada la itálica, el perfil litoral peninsular destaca por su linealidad y escasos entrantes, salvo en las rías gallegas.

La elevada altitud media peninsular es otra característica propia. De la observación del mapa hipsométrico, es fácil deducir que esta es elevada, ya que en el mismo predominan los colores amarillos y sienas, que representan un nivel medio superior a los cuatrocientos metros.

Frente a países como Francia, Alemania, Bélgica, Holanda o Luxemburgo, la distribución de la superficie peninsular en los distintos niveles altimétricos permite establecer unas claras diferencias, que pueden resumirse en que un elevado porcentaje de la superficie peninsular está por encima de los 500 metros sobre el nivel del mar, frente a la de los otros países en que esta cifra desciende considerablemente. Como dato práctico para esta comparación se puede dar el de la altitud media española, en torno a los 660 m, y la de Francia (342 m) o la de Europa (297 m).

Una de las características de esta altitud la

presenta la elevación de la meseta, que ocupa una superficie del 45 por 100 del total español, y se distingue por estar dividida en dos por el Sistema Central, y presentar un relieve horizontal que indujo a pensar, en tiempos antiguos, que se trataba de una llanura.

Las tierras que la rodean establecen otro de los rasgos del relieve peninsular, al aislarla de las zonas litorales.

Al norte, la Cordillera Cantábrica, con su disposición paralela a la costa, su escasa distancia a la misma, y su elevada altitud entre 1.000 y 2.500 metros, actúa de barrera e impide la salida natural hacia el mar.

Los Pirineos se presentan como una barrera infranqueable, y durante mucho tiempo han condicionado las relaciones con el resto de países europeos al erigirse como una mole de altura homogénea, sin valles que permitan la comunicación natural entre las vertientes norte y sur, y ser preciso atravesar la cadena por los extremos, en sus contactos con la costa cantábrica o mediterránea. En el mapa hipsométrico, se puede observar que se localiza en esta unidad una mancha en color morado en la zona central de la misma, correspondiendo a alturas superiores a los 2.500 metros. Los valles se disponen en perpendicular al eje de la divisoria y no se comunican entre sí, lo que dificulta el asentamiento de la población en ellos, al quedar aislados del resto si no es a través de vías de comunicación realizadas por el hombre, que también se ven dificultadas en su tránsito durante buen número de meses al año debido a lo abrupto del relieve y a la dureza del clima.

Al este peninsular, se presenta el Sistema Ibérico, integrado por sierras que son preciso salvar para tener una salida hacia el Mediterráneo, y si se trata de acceder a este mar más hacia el norte, el paso se ve cerrado por las Cordilleras Costero-Catalanas, que con su disposición paralela a la costa representan la última dificultad natural.

Si se trata de acceder a la meseta desde el Sur, en Sierra Nevada se encuentra la mayor altura de la España peninsular, con más de 3.000 m, a escasa distancia del Mediterráneo, lo que atravesarla supone salvar una fuerte pendiente.

Más al oeste y una vez sobrepasada la cuenca

del Guadalquivir, el desnivel de Sierra Morena supone una dificultad en las comunicaciones con el sur.

En el mapa hipsométrico se puede observar la escasa superficie ocupada por las tierras con altitud inferior a los 400 m, en tonos verdes, correspondiendo en su mayoría a territorios insulares —Baleares— o muy próximos a la costa —Andalucía, Cantabria y Comunidad Valenciana— y a las depresiones del Ebro y del Guadalquivir.

En el intervalo entre los 400 m y los 700 m en color amarillo, la distribución superficial se corresponde con un porcentaje alto, destacando notablemente los terrenos superiores a los 700 m, en tonos sienas y marrones.

En el conjunto del relieve de Europa, España ocupa el segundo lugar, en altitud media, sólo superado por Suiza.

### El relieve insular

El relieve insular presenta rasgos propios para cada una de las islas.

La posición geográfica de cada uno de los grupos de islas que se integran en España condiciona las características propias, no sólo del archipiélago al que pertenecen, sino que, además, permite diferenciar los rasgos de cada una de ellas con respecto a las restantes.

Las islas Baleares están ligadas a los movimientos que, a lo largo de las etapas geológicas han afectado a la península y a los países mediterráneos, en tanto que las islas Canarias presentan características, en su relieve, asociadas a la influencia climática del cercano continente africano.

Las Baleares, situadas en el Mediterráneo tienen un origen similar al de los Sistemas Béticos

peninsulares por lo que su formación y peculiaridades son de un gran parecido.

La isla de Mallorca presenta al norte una formación, la Serra de Tramuntana, que sigue la alineación estructural de las Béticas, y representa una barrera de separación entre la costa norte y el interior.

Al este, próxima a la costa, y paralela a ella, les serres de Llevant se desarrollan a lo largo de una línea que cierra, entre ambas elevaciones, un amplio espacio interior, de perfil plano, con algunas pequeñas elevaciones como las del Puig de Son Seguí, Sant Joan o Massís de Randa, que en ningún caso sobrepasan los 550 metros. En este espacio interior se localizan los asentamientos rurales, y se enmarca la red de transportes por carretera, de forma radial, con centro en Palma y direcciones a Alcudia, Capdepera y Santanyí.

El resto de la isla presenta un relieve poco abrupto, con unas costas recortadas, formando pequeñas calas, o alternando grandes bahías, como las de Pollensa y Alcudia al norte y Palma al sur.

Ibiza y Menorca muestran un relieve diferenciado entre las costas norte y sur, siendo las primeras más recortadas, con pequeñas calas, y las segundas algo más abiertas, con playas que no alcanzan las dimensiones de las de la isla mallorquina.

La isla de Ibiza presenta un relieve en el que las mayores alturas se dan al sur, en la Serra de Sant Josep (475 m) y la Serra Grossa (415 m). La disposición de pequeñas alineaciones elevadas, paralelas a la línea de costa, pero con desniveles poco significativos, conforman un paisaje de suaves lomas, sobre el que se asientan pequeños núcleos rurales, agrupándose la población en los tres enclaves costeros más importantes: Eivissa, San Antonio Abad y Santa Eulalia del Río.

En Menorca, el relieve costero establece unas notables diferencias entre el norte y el sur. En la zona septentrional son frecuentes los entrantes del mar hacia el interior, formando bahías o cabos, siendo las más representativas, por sus mayores dimensiones, la bahía de Fornells y formaciones como Punta Nati, Punta de na Guillemassa, Punta Rodona o Punta Codolar, así como los cabos de Cap de Cavalleria, Cap de Fornells

y Cap de Favàritx, entre los más conocidos. En la zona meridional, por el contrario, la costa es más abierta, con amplias playas como las de Sant Tomás y Son Bou, y numerosas calas de pequeñas dimensiones.

Al este y al oeste, las costas son recortadas y al abrigo de estas defensas naturales se asentaron las dos poblaciones más importantes de la isla: Maó y Ciutadella, unidas por una carretera de suave perfil que cruza perpendicularmente a las divisorias de las escasamente elevadas formaciones montañosas, que adquieren su mayor altura en Mare del Deu Toro, a 358 m sobre el nivel del mar.

Las islas de Cabrera y Formentera presentan un relieve poco elevado, aunque se diferencian en el tipo de costa y en su litología. Perfil recortado en las costas de Cabrera, y bajo, con amplias playas abiertas el de Formentera.

El relieve de las islas Canarias requiere un tratamiento distinto en su análisis, ya que su formación es debida a fenómenos volcánicos asociados con movimientos dinámicos de distensión centroatlántica.

Se reconocen en todas las islas dos ejes estructurales de orden primario, y dos de orden secundario, siendo las directrices de los mismos noreste-sudoeste y noroeste-sudeste respectivamente. Existen asimismo unos ejes en dirección norte-sur y este-oeste que intervienen en la configuración de las islas, pero su grado de influencia es menor.

Las líneas estructurales definen una morfología caracterizada por la sucesión de conos volcánicos a lo largo de una alineación en los que se intercalan, en ocasiones, grandes valles o antiguas calderas ampliamente erosionadas en la actualidad.

En general, este relieve está relacionado con la naturaleza y disposición de los materiales acumulados previamente por el edificio volcánico, sin embargo no se relaciona estructuralmente con la superficie que recubre al sufrir rápidas transformaciones.

En una primera fase, las formas se construyen y destruyen durante el tiempo que dura la actividad eruptiva, para a continuación ser modeladas por la erosión, y adaptarse a la propia estructura de los materiales acumulados.

Entre las dos provincias canarias existe una diferencia en el relieve. La más occidental (Tenerife, La Palma, La Gomera y El Hierro), se caracteriza por sus costas acantiladas, con escasas playas al norte y un descenso brusco en la batimetría hasta profundidades de 2.000 a 3.000 metros. La actividad volcánica no ha finalizado, y prueba de ello es la última erupción producida en la isla de La Palma en 1971.

En Tenerife se encuentra la máxima altura insular y española en el Teide, con 3.718 metros.

La disposición del relieve es irregular, presentando una alineación noreste-sudoeste, que aumenta en altitud desde la punta de Anaga en el noreste hacia el centro, con un altiplano intermedio (Los Rodeos), y amplios valles transversales en los que se asientan las poblaciones de La Orotava al norte y Güimar al sur. La cordillera dorsal continúa hasta Izaña, y se bifurca formando la antigua caldera hundida de Las Cañadas.

Las vertientes norte y sur forman dos planos inclinados en los que se encajan barranqueras de fuertes pendientes que impiden la organización de una red hidrográfica a causa del fuerte desnivel y de la constitución del roquedo, en su mayor parte poroso.

El relieve gomero es abrupto, formado por grandes barrancos que, desde el centro de la isla, a una altura de casi 1.500 m descienden al mar en bruscos y fuertes pendientes, imprimiéndole un carácter peculiar. En la costa predominan las formas de acantilados. La erosión diferencial ha dejado al descubierto chimeneas lávicas más resistentes que los basaltos de su entorno, siendo características las formaciones de «roques», que imprimen un elemento diferencial en el paisaje.

El Hierro tiene forma triangular, siendo los dos lados meridionales rectilíneos y, al norte se abre al mar por el valle del Golfo.

El color oscuro del conjunto isleño se debe a las formaciones de lavas basálticas, con depósitos de cenizas y lapillis y lavas escoriáceas superpuestas.

El paisaje está dominado por una serie de conos volcánicos que forman una cresta que se extiende, en forma de arco, entre las puntas del Guanche y Orchilla, descendiendo bruscamente

hacia el mar formando acantilados. La altura mayor de la isla se encuentra en El Malpaso, a 1.501 m de altitud.

La Palma queda condicionada en el relieve por la existencia de un antiguo zócalo que aflora en el fondo de la caldera de Taburiente que ocupa el centro de la isla y queda cubierto por series de basaltos de edad antigua y moderna. Su forma es la de un triángulo isósceles alargado hacia el sur habiendo crecido en este sentido en la última erupción de 1971.

Las islas orientales reciben la influencia del próximo continente africano. El relieve de Fuerteventura se encuentra en una avanzada fase de denudación, distinguiéndose tres unidades morfológicas: al oeste el macizo de Betancuria, donde la erosión destruye las intrusiones antiguas y los trapp que los recubren; al este, un conjunto montañoso, que se continúa en la península de Jandía, donde la cubierta basáltica frena el proceso erosivo y, entre ambas unidades, una depresión de dirección meridional que comprende los llanos de Antigua y Tuineje.

Lanzarote presenta un relieve en el que los edificios volcánicos siguen la línea estructural que divide la isla en dos, de suroeste a noreste, y sus alturas no son destacadas. La temperatura de los materiales volcánicos se mantiene muy elevada en la superficie de alguna de las zonas, y una muestra de todo ello puede encontrarse en el Parque Nacional de Timanfaya. Las playas de arena blanca, que contrastan con el color oscuro de la isla, se localizan al este.

En Gran Canaria, existe un marcado contraste entre el modelado de la mitad sudoeste, de formas abarrancadas y fuertes vaguadas separadas por divisorias de altas lomas, y el norte y este, donde el desnivel se hace menor y los relieves se modelan más suaves como consecuencia de las depresiones que dejan aflorar crestas de separación elevadas.

Desde un análisis geológico, el suroeste no presenta aparatos de emisión reconocibles, pues fueron desmantelados por la prolongada ablación de agentes atmosféricos, y las rocas son antiguas.

Al norte, las rocas son más jóvenes y están divididas por fajas radiales, en resalto, de otras más antiguas.



La representación del relieve

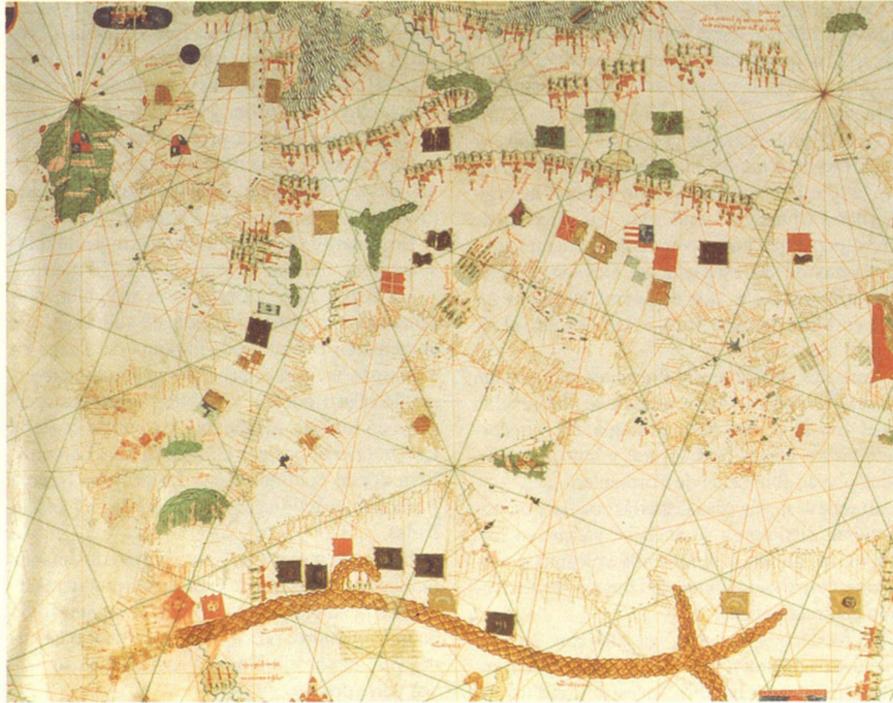
Uno de los grandes problemas con los que se ha enfrentado la cartografía práctica ha sido la representación del relieve. Como consecuencia de esta dificultad, éste ha sido uno de los elementos del terreno al que se le han aplicado un mayor número de soluciones representativas.

Ya desde los primeros mapas se hace patente el deseo de sus autores por completar la información planimétrica con la altimétrica; pero así como el problema de representar la primera se solucionó aceptablemente muy pronto, la representación correcta del relieve ha sido mucho más tardía. La causa de este retraso fue la imposibilidad de realizar mediciones de calidad y en la cantidad necesaria. Sólo con la aplicación del barómetro a la altimetría, mediado el siglo XVIII, y el perfeccionamiento del teodolito se determinaron con precisión las cotas de las montañas.

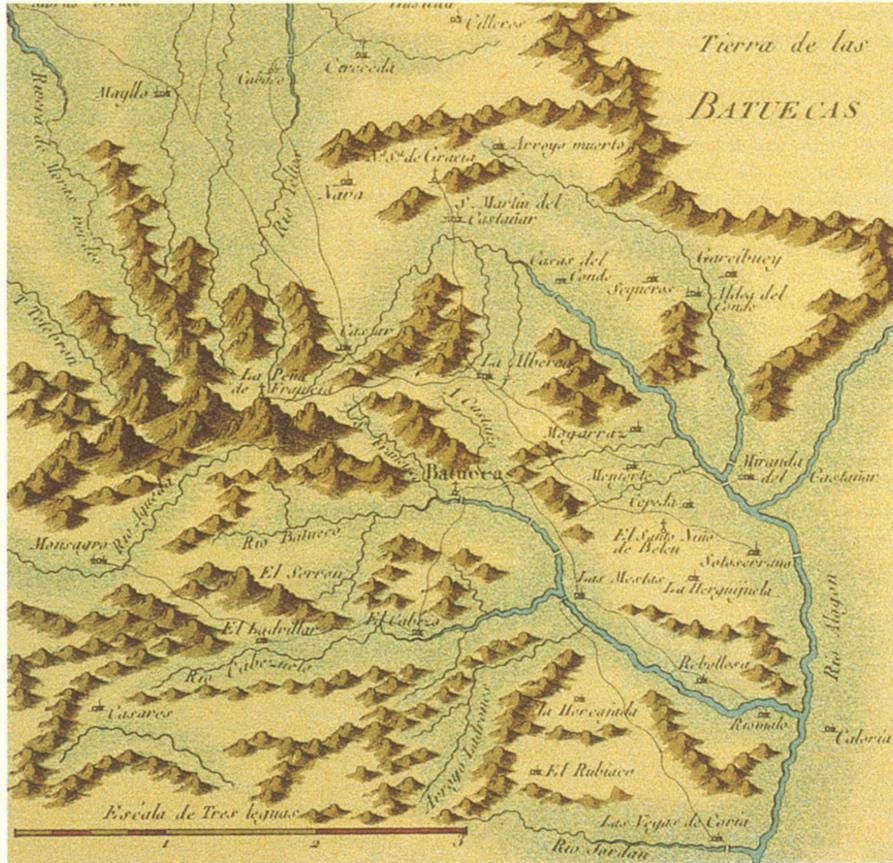
Por estas razones, hasta mediado el siglo XVIII se dibujaron las montañas de perfil. En un breve recorrido histórico recordaremos que este sistema aparece ya en el mapa más antiguo que ha llegado hasta nosotros, una tableta de arcilla de hacia el 2500 a.C. También se empleó en los códices de Tolomeo con variaciones de uno a otro, que unas veces recuerda los montones de trigo en las eras y otras una fila de piedras en el suelo. Una curiosa variante de este método de representación es la de los portulanos de la escuela mallorquina; en ellos, el Atlas, que semeja un tronco de palmera, presenta un corte que corresponde al paso de Sus, mientras la estribación de Argel se figura a través de un «espólón» hacia el Norte. Por lo que respecta a los Alpes, su forma nos recuerda a una garra o pata de ave con los garfios dirigidos al Norte. Un último ejemplo, más próximo a nosotros, es el de Tomás López, autor de la obra cartográfica más importante realizada hasta el siglo XVIII en España.

Apenas si se intentó indicar en estos dibujos la tipología de las montañas y muy raras veces la altura del dibujo correspondía a la real del terreno.

Durante el siglo XVIII se abandona progresivamente la representación orográfica perspectiva, sustituyéndose por otros métodos encaminados a mejorar el efecto plástico unos y a conseguir una representación geométrica otros.



Representación del relieve por perfiles en un portulano de la escuela mallorquina (Fragmento de la «carta náutica de Gabriel de Valseca» de 1439)



Utilización de perfiles en la obra de Tomás López (Inserto del «Mapa de la Provincia de Extremadura» de 1798)

De entre los primeros cabe destacar el **sombreado** que ya se venía aplicando en la perspectiva para acentuar la impresión óptica del relieve. En los mapas manuscritos, por lo general iluminados en colores a la acuarela, se conseguían las sombras por manchas de color más o menos oscuras según la orientación y la pendiente de las laderas. En cambio, en los mapas grabados perduró hasta finales del siglo la representación de perfil realzada por el sombreado. Gracias a la litografía, antes de cuyo empleo no podían reproducirse los medios tonos, pudo también aplicarse el sombreado plástico a los mapas grabados. Este método es muy empleado en combinación con las curvas de nivel para resaltar las formas de las montañas.

Las **líneas de máxima pendiente** y las **curvas de configuración horizontal** del terreno fueron otros de los métodos empleados en este siglo, que suponen un paso adelante hacia la representación cuantitativa del relieve.

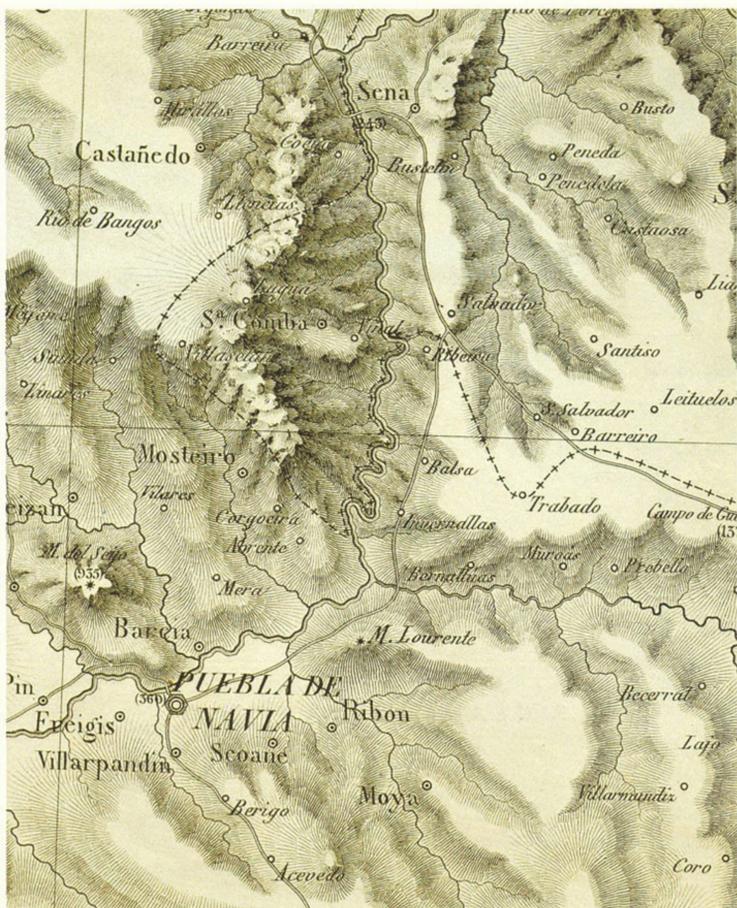
Las primeras, antecedente más próximo del sistema llamado de **normales**, no permitían en un principio determinar el valor de las pendientes ni las cotas, ya que se trazaban a sentimiento. A finales de siglo, el comandante austriaco Lehman ideó un método científico, válido para expresar el valor del ángulo de las pendientes. Era condición fija que el grueso del trazado quedase determinado por la pendiente; de este modo, siendo igual el número de normales en todas las zonas y la anchura de ellas proporcional a su pendiente, las zonas más inclinadas resultaban más oscuras. Las pendientes superiores a 45° quedaban en negro. El sistema de Lehman fue adoptado por casi todos los servicios geográficos militares durante buena parte del siglo XIX. Los principales inconvenientes que presenta este sistema son, por un lado, que no se adapta bien a los mapas de escala reducida (denominador grande), y por otro, tampoco resultaba adecuado para terrenos con pendientes suaves o casi llanos.

Uno de los mejores mapas españoles con normales es la «Carta Geométrica de Galicia» (1845) de Domingo Fontán. Otros ejemplos de representación por normales los encontramos en las cartas marinas de los siglos XVIII al XX.

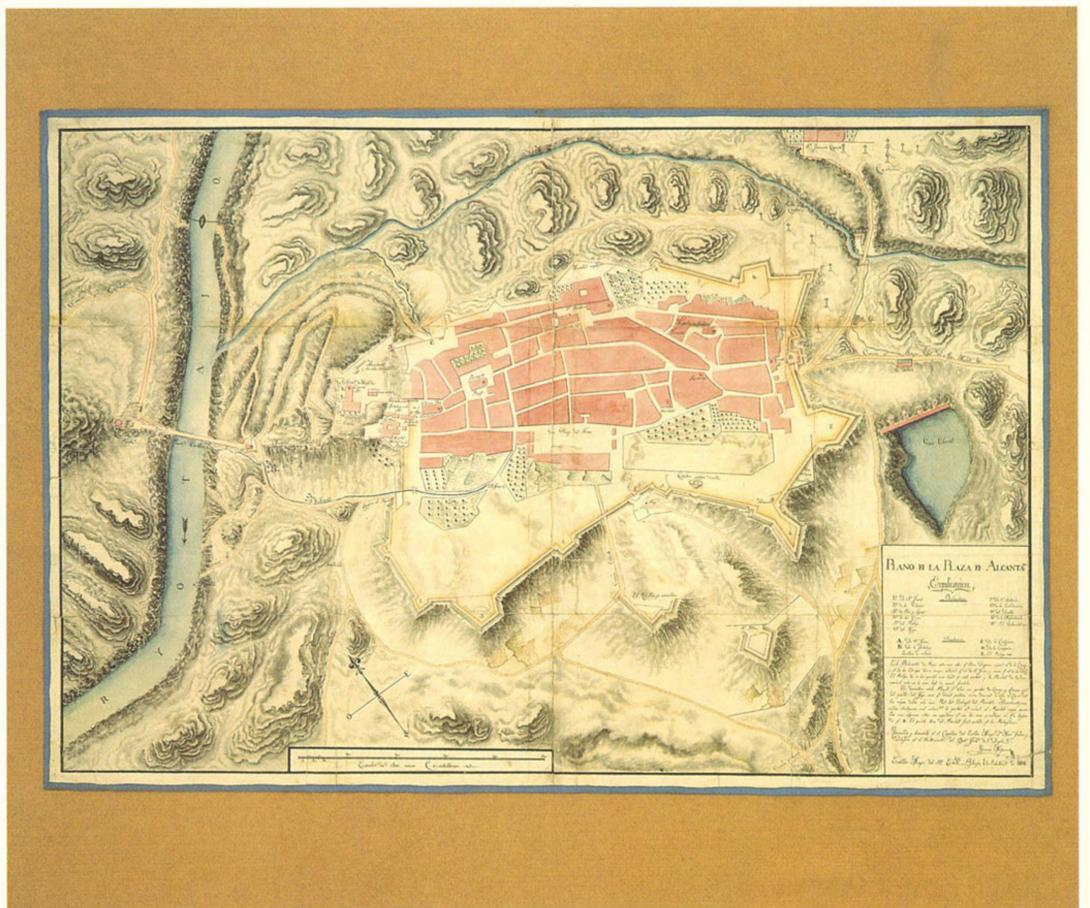
Por lo que respecta a las **curvas de configuración horizontal del terreno**, precedente de las curvas de nivel, éstas trataban de mostrar lo que sería la intersección del terreno con una familia de planos horizontales, manifestando todas las inflexiones del suelo, con sus entrantes y salientes.

En España empleó este sistema don Francisco Coello en sus mapas provinciales a 1:200.000. Idéntico procedimiento se utilizó en el Mapa de España a 1:500.000 realizado por el Instituto Geográfico y Estadístico en 1884, conocido como el «Mapa del General Ibáñez».

Los tres sistemas enunciados anteriormente (sombreado, normales y curvas de configura-



Representación del relieve por normales en la «Carta Geométrica de Galicia» de Domingo Fontán de 1845



Curvas de configuración horizontal en el «Plano de la plaza de Alcántara» de 1812 del Estado Mayor del Ejército



Fragmento del «Mapa de Castellón de la Plana» de Francisco Coello de 1832, con curvas de configuración



«Plano de Gibraltar» de 1779 del Cuerpo de Ingenieros Militares, donde se combinan el sombreado con las curvas de configuración

ción) fueron también ampliamente utilizados por el Cuerpo de Ingenieros Militares, que alcanzó una gran maestría en el empleo combinado de los mismos.

Sin duda alguna el sistema más extendido para representar el relieve del terreno geoméricamente es el de las curvas de nivel, que son líneas que a igual distancia entre cada dos consecutivas unen puntos de igual cota. Las curvas de nivel del mapa son la proyección horizontal de las curvas del terreno.

Fueron empleadas por primera vez en 1728 por el holandés Cruquius para representar el fondo del estuario del río Merwede. Poco después las utilizó el geógrafo francés Philippe Bauche en la representación del fondo del Canal de la Mancha. Tendrían que transcurrir muchos años hasta su empleo como medio de expresión del relieve terrestre, pues el primer mapa del que tenemos noticia es el de Francia de Dupain-Triel de 1791.

Al principio de su empleo las curvas de nivel presentaban algunos inconvenientes. En primer lugar, la expresión plástica que proporcionaban era pobre en general; por otra parte, en los mapas estampados en blanco y negro podían confundirse con detalles planimétricos. La solución a este problema fue sustituirlas en las reproducciones por normales o combinarlas con el sombreado.

Con los progresos de la litografía, inventada por Senefelder en 1796, que permitieron la impresión de los mapas en colores, prevaleció a mediados del siglo XIX el sistema de curvas de nivel, cayendo en desuso el de las normales.

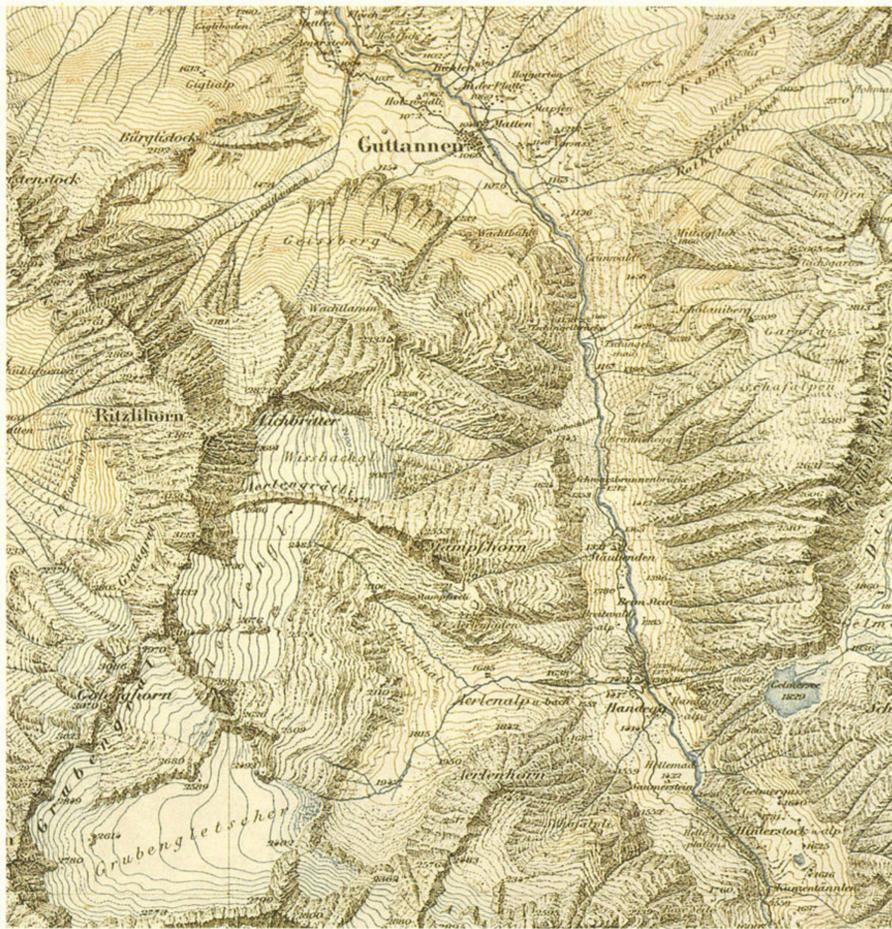
El sistema de curvas de nivel se ha ido perfeccionando con el paso del tiempo; inicialmente, al estar determinadas con apoyo en un número reducido de puntos acotados del terreno interpolando entre ellos los puntos de paso aparecían deslavazadas e inexpressivas; más tarde, el empleo de la fotogrametría hizo caer en el defecto opuesto, trazándose las curvas con excesivo detalle, de escasa utilidad práctica. Todo ello ha llevado a que en nuestros días se haya llegado a comprender la conveniencia de generalizar un poco su trazado. Dicha generalización debe ser más acusada a medida que la escala del mapa es más pequeña y mayor la equidistancia.

Las curvas de nivel nos permiten estudiar las formas del relieve al detalle y con cierta precisión (cálculo de pendientes, construcción de perfiles, etc.). En cambio no se prestan a facilitar una comprensión rápida e intuitiva de las formas generales del terreno.

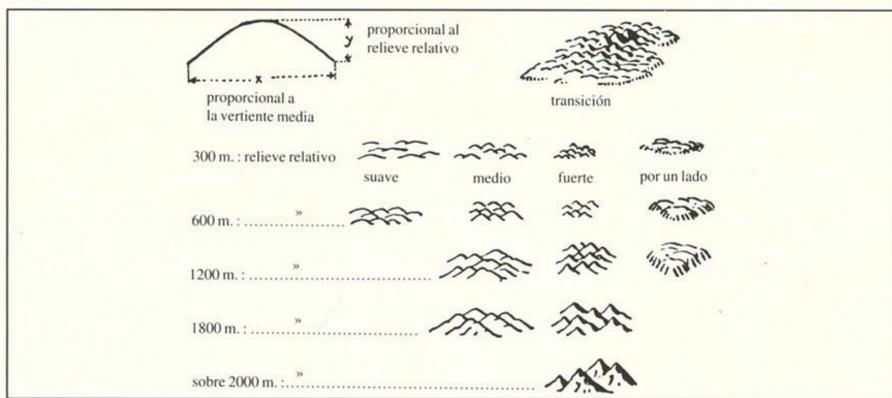
La representación por curvas de nivel cae en defecto cuando las laderas son muy abruptas, en acantilados rocosos de paredes verticales, etcétera; en estos casos conviene sustituirlas por una representación más o menos artística del roquedo. Los mejores ejemplos de este procedimiento los encontramos en la cartografía italiana y suiza de los Alpes.

La última mejora introducida en el sistema es el empleo de distintos colores según el tipo de suelo empleado en los mapas suizos. En ellos, las curvas aparecen en siena sobre tierra, negro sobre roca y azul sobre hielo de los glaciares. Tiene la ventaja de aumentar la información sin complicar el dibujo.

En España encontramos ejemplos de representación del relieve por curvas de nivel ya en algunos mapas manuscritos de hacia 1850. El



En este fragmento de un mapa topográfico suizo se utilizan curvas de distintos colores y representación del roquedo



Signos tracográficos con curvas cuya altura es proporcional al relieve relativo y la anchura a la extensión de las laderas

Depósito de la Guerra las empleó a partir de 1863, un buen ejemplo es el Manual Itinerario Militar, en el que a continuación de cada descripción del itinerario venía el mapa a 1:100.000 con curvas de nivel de unos 80 pies de equidistancia. También se utilizó en el Mapa Topográfico Nacional, cuya primera hoja apareció en 1875.

Uno de los sistemas de representación del relieve derivado de las curvas de nivel, es el de las **tintas hipsométricas**. En este sistema se establecen zonas de altitudes limitadas por curvas de cota redonda, asignando a cada una de ellas un color distinto. Se emplean en mapas a escalas pequeñas (1:200.000 y menores) y su objeto es proporcionar una imagen inmediata y exacta del terreno, así como de las altitudes.

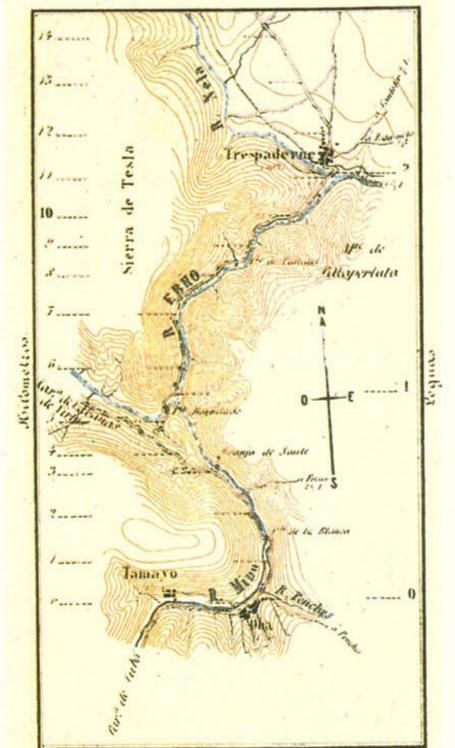
Este método fue preconizado por el general Von Hauslab en Viena. Por su parte, un geógrafo

fo de Gotha, Emil Von Sydow, constatando que los colores más extendidos en la naturaleza son el verde y el siena, con predominio del primero en las tierras bajas y del segundo en las montañas, propuso una gama entre ambos extremos. El problema que presenta el color verde es su asociación a la idea de vegetación, y aunque en general es cierto, hay que tener en cuenta que existen extensiones muy grandes y bajas (Sahara, Arabia) completamente desérticas. Para evitar este error de interpretación, el profesor Peucker, de Viena, ha propuesto el empleo de gamas a base de grises verdosos y sepias anaranjados.

Otro método completamente distinto para la visualización intuitiva del relieve es el ideado por el japonés Kitiro Tanaka en 1932. El método consiste en transformar las curvas de nivel en un sombreado de aspecto realmente plástico. Se traza una serie de rectas paralelas, equidis-

tantes entre sí, sobre el mapa con curvas de nivel; se une el punto de intersección de una línea con la curva de nivel más baja con el de intersección de la curva de nivel siguiente con la horizontal siguiente a la primera y así sucesivamente. El método es puramente geométrico, apareciendo el terreno en perspectiva oblicua a vista de pájaro.

En los mapas de escalas reducidas, ni las curvas de nivel ni las normales proporcionan una idea clara e intuitiva de las formas del te-



Representación del relieve por curvas de nivel en el «Manual Itinerario Militar» de 1863

rreno. El **método morfográfico** representa el aspecto del suelo como podría verse en una perspectiva aérea oblicua mediante signos más o menos pictóricos. El primer mapa de este género fue preparado por A. K. Lobek en 1921 y representaba los Estados Unidos. Fue perfeccionado en 1931 por Erwin Raisz, clasificando la superficie terrestre en 40 tipos morfológicos. Este método no da información sobre la elevación del terreno respecto al nivel del mar pero empleando colores puede vencerse esta dificultad al combinar el mapa morfográfico con las tintas hipsométricas. También puede recurrirse a indicar la cota de ciertas alturas. La principal ventaja de este método estriba en su facilidad de comprensión.

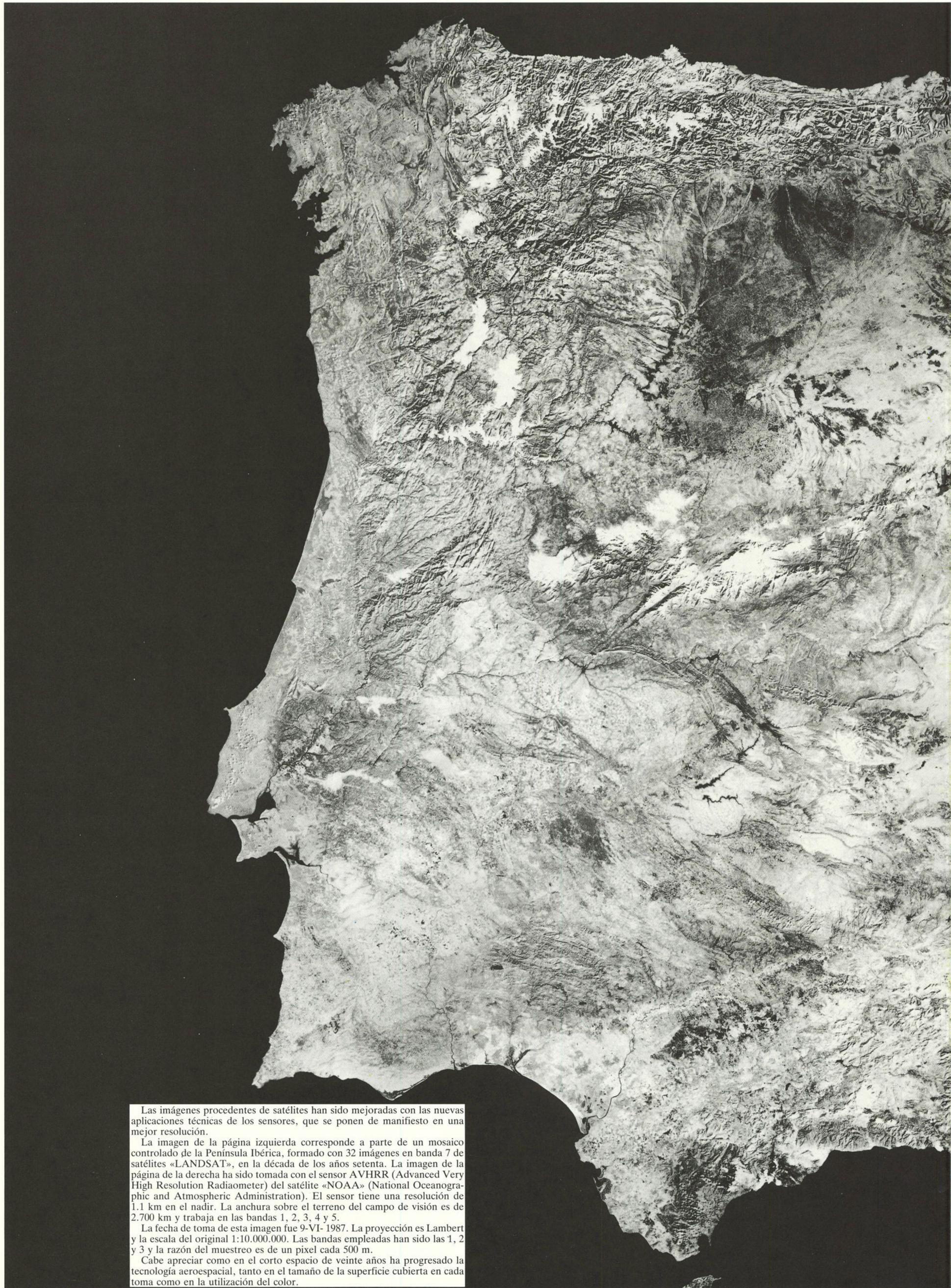
Por último citaremos el método **tracográfico**. El elemento fundamental de este sistema consiste en una curva de perfil montañoso, cuya altura es proporcional al relieve relativo (altura de la cima sobre el pie de la montaña) y cuya anchura es a su vez proporcional a la extensión de las laderas. Aun cuando un mapa tracográfico es semejante a uno morfográfico, sus orígenes son totalmente distintos, pues mientras que los signos panorámicos se refieren a diferentes accidentes de la superficie terrestre, el método tracográfico emplea un solo signo que varía según la altura y la pendiente de las montañas.









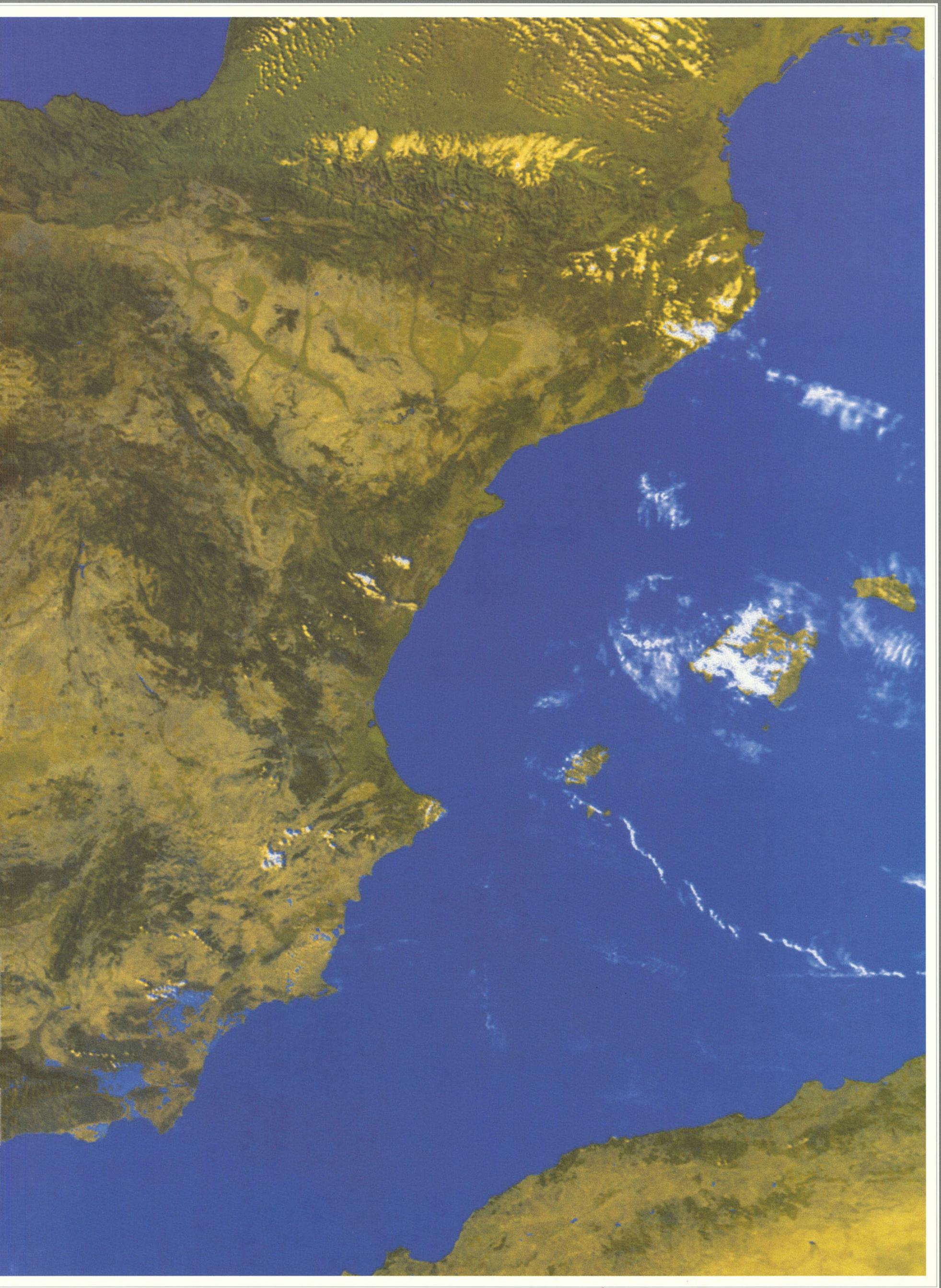


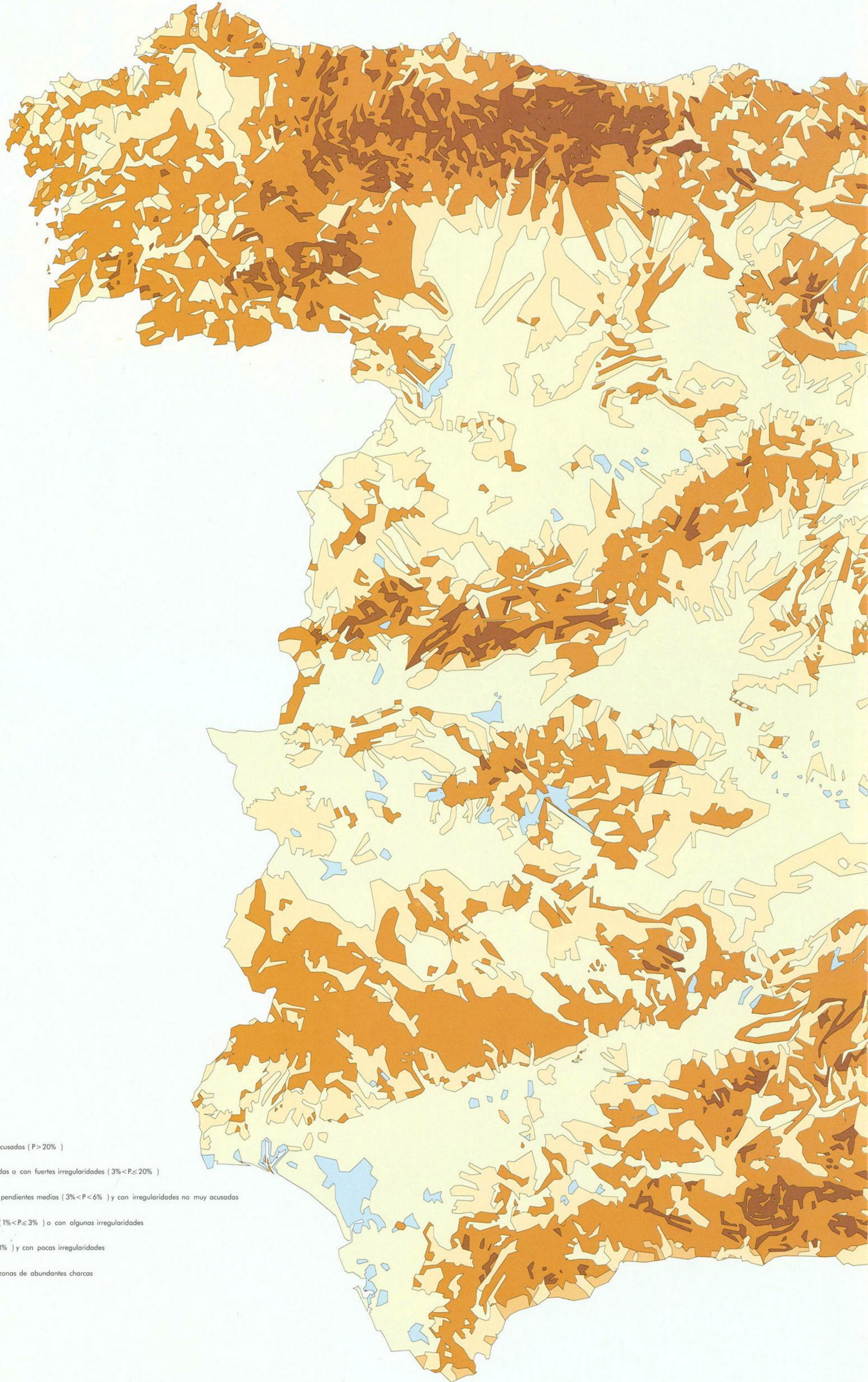
Las imágenes procedentes de satélites han sido mejoradas con las nuevas aplicaciones técnicas de los sensores, que se ponen de manifiesto en una mejor resolución.

La imagen de la página izquierda corresponde a parte de un mosaico controlado de la Península Ibérica, formado con 32 imágenes en banda 7 de satélites «LANDSAT», en la década de los años setenta. La imagen de la página de la derecha ha sido tomada con el sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) del satélite «NOAA» (National Oceanographic and Atmospheric Administration). El sensor tiene una resolución de 1.1 km en el nadir. La anchura sobre el terreno del campo de visión es de 2.700 km y trabaja en las bandas 1, 2, 3, 4 y 5.

La fecha de toma de esta imagen fue 9-VI-1987. La proyección es Lambert y la escala del original 1:10.000.000. Las bandas empleadas han sido las 1, 2 y 3 y la razón del muestreo es de un pixel cada 500 m.

Cabe apreciar como en el corto espacio de veinte años ha progresado la tecnología aeroespacial, tanto en el tamaño de la superficie cubierta en cada toma como en la utilización del color.





-  Suelo con pendientes muy acusadas ( $P > 20\%$ )
-  Suelo con pendientes acusadas o con fuertes irregularidades ( $3\% < P \leq 20\%$ )
-  Zona costera de suelo con pendientes medias ( $3\% < P < 6\%$ ) y con irregularidades no muy acusadas
-  Suelo con pendiente suave ( $1\% < P \leq 3\%$ ) o con algunas irregularidades
-  Suelo llano (pendientes  $P < 1\%$ ) y con pocas irregularidades
-  Lagunas, embalses, marismas, zonas de abundantes charcas

ESCALA 1:2.000.000

Fuente de información: Criterios e indicadores en política territorial. Subsecretaría de Planificación. Presidencia del Gobierno. Año 1977



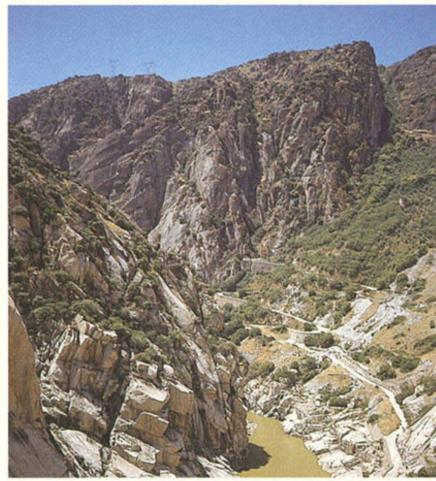
La geomorfología es una rama del saber que tiene como objeto el conocimiento científico de las configuraciones que presenta la superficie sólida de la Tierra, de cuya combinación a todas las escalas resulta el relieve terrestre. Lo que la diferencia de otras disciplinas que, como la Geodesia y la Topografía, tratan también de la forma de la superficie de nuestro planeta es su enfoque básicamente explicativo y generalizador, conforme al cual la definición y clasificación de los elementos del relieve no es descriptiva, sino genética y evolutiva y deriva de una interpretación fundada en un cuerpo de leyes propias de amplia validez. Dicho enfoque corresponde a un entendimiento del relieve como un fenómeno que tiene lugar, no en un plano geométrico y estático, sino en la estrecha franja (definible como un plano en relación con el volumen planetario) en que entran en contacto y mutua interacción la litosfera y las envolturas fluidas que la rodean (atmósfera e hidrosfera): una franja en permanente cambio cuya forma, en cada lugar y en cada momento, se adapta al balance existente entre las condiciones que se dan y las fuerzas que actúan por debajo y por encima de ella.

Para la Geomorfología, por lo tanto, las formas de relieve son sistemas de pendientes que expresan el estado presente de la interacción entre hechos, fuerzas y procesos correspondientes a la litosfera (*internos*) y hechos, fuerzas y procesos que se desarrollan por encima de esta esfera sólida dentro del ámbito de sus envolturas (*externos*). Cada una de ellas, cualquiera que sea su localización o su extensión, se define en tanto que resultado de la acción mutuamente relacionada con unos *procesos de modelado* realizados por los fenómenos atmosféricos, por las aguas y, en su caso, por los seres vivos sobre un conjunto de rocas aflorantes (*estructura geológica*) construido u organizado por unos *procesos tectónicos* a lo largo de un determinado intervalo de tiempo. No obstante, según los casos, el resultado morfológico de esta dialéctica entre *modelado* y *estructura tectónica* es favorable en mayor o menor medida a uno o a otra, de modo que puede establecerse una primera distinción entre *formas de modelado*, cuyos caracteres derivan prioritariamente del marco o contexto climático-hidrológico en que se han desarrollado, y *formas estructurales*, cuya organización se encuentra controlada básicamente por la naturaleza y disposición de las rocas en el sector de la corteza terrestre que las sirve de marco. Esta vinculación preferente bien a los procesos externos bien a las disposiciones y acciones internas determina el *carácter* de las formas de relieve y constituye el primer criterio para su definición, que en la cartografía temática elaborada por los geomorfólogos se expresa normalmente con colores de fondo por medio de la gama cromática: en general, la gama «cálida» (rojo, naranja, sepia) indica el carácter de forma estructural y la gama «fría» (azules, verdes), el carácter de forma de modelado.

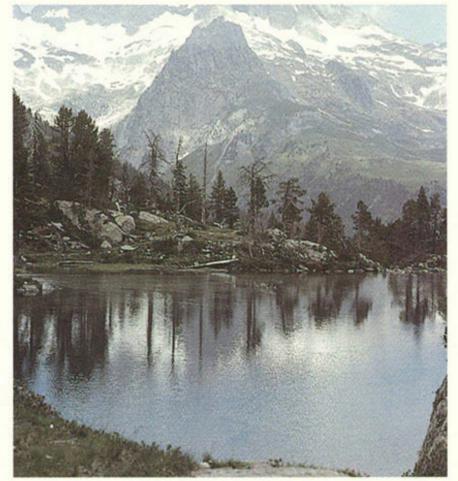
Al estar prioritariamente controladas por los caracteres lito-tectónicos de los niveles litosféricos superficiales, las formas de relieve estructurales presentan características diferentes según el *contexto geológico* en que se encuentran modeladas. De este modo la Geomorfología, apoyándose en las grandes divisiones establecidas por la Geología (zócalos, cadenas de plegamiento, cuencas sedimentarias periféricas, cuencas sedimentarias interiores, estructuras volcánicas, etc.), las define y clasifica utilizando como criterio la naturaleza de este marco macroestructural, la cual se expresa en sus representaciones cartográficas por medio del color (siempre dentro de la gama cálida); por ejemplo, los relieves estructurales integrados en un contexto de zócalo antiguo se expresan por medio de símbolos en color magenta, los correspondientes a un contexto de cadena de plegamiento reciente mediante sím-

bolos en color naranja y los desarrollados en el contexto de una cuenca interior de sedimentación en color sepia. Igualmente las formas de modelado, al depender de modo prioritario del medio ambiente atmosférico e hidrosférico (que determina el proceso o el conjunto de procesos responsables de su desarrollo geomorfológico), muestran caracteres genéricamente diferenciados según la naturaleza del *contexto morfogenético o morfoclimático* en que han sido esculpidas. Así, la Geomorfología ha establecido divisiones territoriales fundadas en el tipo de acciones externas responsables del modelado y las ha denominado «dominios» (dominio litoral, dominio fluvial, dominio glacial, dominio árido, dominio cálido-húmedo, etc.) y las usa como criterio de definición y clasificación, atribuyendo también —a efectos cartográficos— un color a cada uno de ellos (normalmente dentro de la gama fría); por ejemplo, los relieves modelados dentro de un contexto litoral se representan con signos en color azul, los modelados en un contexto fluvial en verde y los modelados en un contexto glacial en violeta. En conformidad con su entendimiento no estrictamente geométrico del relieve, la Geomorfología no limita su interés a las formas superficiales en sí, sino que toma también en consideración la naturaleza concreta, el estado y la disposición de los materiales sólidos que la constituyen—y que, en mayor o menor medida, la explican y determinan—, es decir incluye la *base material* como criterio decisivo en la definición y la clasificación de las unidades morfológicas. Esta base material puede ser, según los casos, un volumen de *roca aflorante*, una cubierta *in situ* resultante de la meteorización del material lítico puesto en afloramiento (*una formación superficial*) o un depósito de partículas arrastradas y acumuladas por los propios procesos atmosféricos o hidrológicos externos (*una formación sedimentaria*); en todo caso, se expresan gráficamente por medio de tramas de línea o sobrecargas. En la cartografía geomorfológica las rocas directamente aflorantes, diferenciadas con base en criterios petrográficos sencillos y no en consideraciones cronoestratigráficas (como es propio de la cartografía geológica), se representan mediante tramas de línea en sobrecarga dentro del color correspondiente al contexto estructural en que se integran: por ejemplo, el granito sobre el que está modelado un «berrocal» en un área de zócalo, o la caliza masiva de una cresta en una cordillera de plegamiento. Las formaciones superficiales, por su parte, se expresan por medio de las mismas tramas indicadoras de las rocas sobre las que se han generado, pero dibujadas en reserva sobre el fondo del color correspondiente al contexto estructural: por ejemplo, un manto de alteración desarrollado en un área granítica de zócalo se cartografía mediante una trama de cruces regulares «en blanco» sobre fondo magenta. Las formaciones sedimentarias, finalmente, son representadas por los geomorfólogos por medio de tramas convencionales dibujadas en el color propio del contexto morfodinámico o morfoclimático responsable de su acumulación: por ejemplo, la formación arenosa constitutiva de una playa litoral se expresa por medio de una trama de puntos en color azul, el aluvión de gravas y arena que conforma una terraza fluvial, por medio de una trama de círculos y puntos en color verde, y el acúmulo de bloques que constituye un cordón morrénico glacial, por medio de una trama de formas circulares irregulares en color violeta.

A diferencia del espacialismo puro de la Geodesia y la Topografía, la Geomorfología es una disciplina con un básico enfoque evolutivo e incluye en su análisis del relieve un marcado componente temporal o histórico; un componente cuya escala es superior a la histórica pero netamente inferior a la del «tiempo geológico». De acuerdo con ello los geomorfólogos investigan la



Morfología fluvial. El río Duero en Aldeadávila (Foto: M. Herrero)



Morfología glacial. Pirineo Aragonés. (Foto: J. Muñoz)



Morfología marina. Costa occidental de Fuerteventura (Foto: M. Herrero)



Morfología glacial. Garganta y circo de Gredos (Foto: M. Herrero)

edad de las formas de la superficie terrestre y tienden a datarlas con la mayor precisión posible, estableciendo al menos su *cronología relativa*. Esta se suele indicar en sus representaciones cartográficas, utilizando para ello la intensidad cromática sobre la base de atribuir mayor tono a los símbolos correspondientes a relieves recientes y tono más suave, a los correspondientes a relieves más antiguos. Así, las terrazas fluviales holocenas o los llanos de inundación subactuales se dibujan en verde más intenso que las terrazas antiguas del Pleistoceno (aunque el signo y la trama sean los mismos); igualmente, las sucesivas generaciones de arcos morrénicos glaciares se dibujan con el mismo signo y trama pero en un color violeta tanto más suave cuanto mayor sea la antigüedad atribuida a cada uno de ellos.

Teniendo en cuenta todos los criterios indicados (*carácter, contexto, base material y edad*), junto con sus caracteres topográficos concretos, la Geomorfología llega finalmente a establecer la *naturaleza o definición propia* de cada una de las formas de relieve que analiza y, a efectos cartográficos, la atribuye un signo convencional específico de entre los propuestos en un repertorio o «código» previamente establecido y diseñado. El contenido y la estructura de este código de signos geomorfológicos depende de la escala del mapa y —como ocurre en toda la cartografía temática— de la línea teórica de quien realiza la investigación o «levantamiento». Lógicamente, cuando la escala es grande lo es también el número de signos que se pueden utilizar (las Leyendas propuestas para cartografiar el relieve a escala 1: 50.000 suelen incluir en torno a un millar de signos), reduciéndose éste según disminuye el número de fenómenos que es posible cartografiar al pasar a escalas menores; del mismo modo la organización de los tipos y los criterios últimos de definición varían según la escuela o la especialidad de los equipos de trabajo responsables de la cartografía. No obstante, se ha llegado de hecho a una simbología cuyos componentes de uso más frecuente no difieren significativamente en las diversas Leyendas propuestas. Así, por ejemplo, una cornisa rocosa se representa mediante una línea dentada en semicírculos, un frente de cresta monoclinial mediante una línea gruesa dentada en ángulos, una superficie estructural acinial mediante una sobrecarga de líneas horizontales o un talud de gravedad mediante un sistema de puntos alineados y divergentes. Según los casos, estos signos se dibujan en un color neutro (negro o gris) o bien en el color correspondiente al contexto estructural, morfogenético o morfoclimático a que pertenecen; sólo en el segundo caso es posible utilizar propiamente la intensidad cromática como indicadora de la edad relativa de las formas, sobre todo cuando éstas se desarrollan sobre afloramientos rocosos directos. De este modo una rampa de abrasión marina (o «rasa») modelada por el oleaje sobre roquedo calizo masivo integrado en un área de zócalo se representa por medio de una trama de líneas paralelas oblicuas (que es su signo propio) dibujada en azul (correspondiente al contexto morfogenético litoral), superpuesta a una trama de «ladrillos» (correspondiente a la base litológica de calizas) en magenta (color correspondiente al contexto estructural de zócalo), siendo la intensidad del azul de la trama citada en primer lugar la que indica si la rampa es de generación antigua o reciente.

La perspectiva desde la que la Geomorfología se enfrenta con el relieve terrestre integra, por lo tanto, diversos elementos de definición (geoestructura, marco genético, base material, edad, etc.), como consecuencia de lo cual su tipificación de las formas superficiales no es sencilla ni se basa en la aplicación de un solo criterio más o menos sintético. Ello hace que la cartografía geomorfológica sea compleja en cuanto a elaboración, diseño y realización y que su lectura se base en una «generalización estructural», es decir en un reconocimiento de la forma representada a través, no de un

solo elemento gráfico globalizador, sino de la combinación de los símbolos correspondientes a varios niveles de información. Y es esta complejidad o pluralidad articulada de enfoque, coherentemente traducida en un sistema de representación gráfica de gran riqueza y amplitud, la que la confiere la máxima capacidad para transmitir información acerca del relieve terrestre.

#### CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA

El mapa geomorfológico puede definirse como un mapa temático, que proporciona un inventario explicativo del relieve, debidamente espacializado.

Su formación, diseño y edición se realiza dentro del marco de unas normas cartográficas específicas que definen los contenidos del mapa y desarrollan los elementos semiológicos necesarios para su representación cartográfica.

El mapa geomorfológico de Toledo-Sonseca a escala 1: 50.000 (del que se muestra un fragmento), ha sido realizado aplicando el método de Cartografía Geomorfológica del Centro de Geografía Aplicada de Estrasburgo desarrollado por TRICART, J. (1971) y utilizado en la realización del Mapa Geomorfológico de Francia.

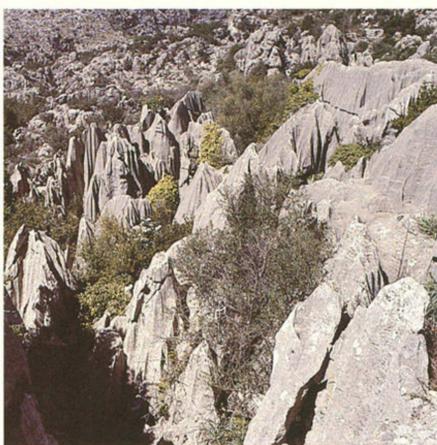
Los objetivos básicos de éste Método son: a) Definición de unidades homogéneas por sus elementos geomorfológicos (desde una región estructural hasta una microforma) dentro de una estructura codificada. b) Tanto la morfología de las unidades como los elementos que las definen han de ser cartografiables.

Los elementos establecidos para definir una unidad geomorfológica cualquiera, con representación en el mapa, se han estructurado en cinco términos:

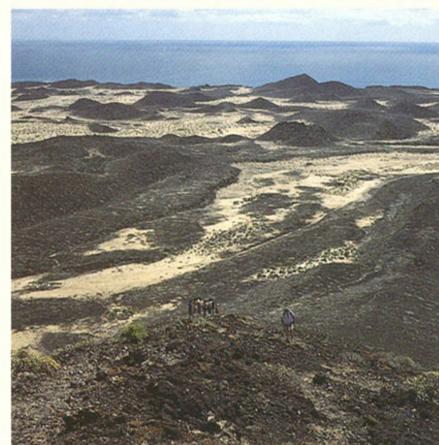
1. Localización en el espacio. Toda unidad cartografiada tiene que ser localizada por sus coordenadas en el sistema de representación cartográfica elegido.
2. El contexto estructural. Toda unidad queda definida por el tipo de región estructural considerando su litología, cohesión de la roca, su resistencia mecánica ante la erosión, y por la tectónica que la haya afectado.
3. El contexto morfogenético. Definición en las formaciones superficiales y en las formas del relieve del tipo de acciones dinámicas o dominios morfoclimáticos, bajo cuyos agentes se han desencadenado los procesos morfogenéticos que han generado el relieve, así como la edad de las formas.
4. Formaciones superficiales. Los depósitos de todo tipo quedan definidos por los siguientes caracteres: origen del material y procesos de preparación, granulometría, tipos y matriz (proporción y composición mineralógica de ésta), grado de consolidación, tipo y naturaleza del cemento que la compacta, así como por el espesor de la formación.
5. Las formas del terreno. Se estructuran en dos apartados atendiendo a su origen endógeno o exógeno, quedando asociadas a su contexto para su expresión gráfica:

Las endógenas al estructural y las exógenas al sistema morfogenético bajo cuyos agentes se ha generado, permitiendo diferenciar varios estados dentro de una misma forma y el grado de actividad actual de los procesos.

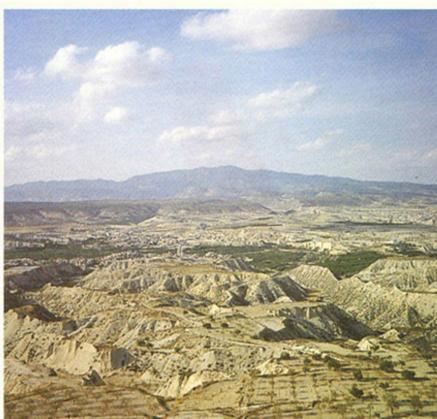
El territorio representado en el mapa se localiza en torno a la ciudad de Toledo (región central de España) y comprende parte de las hojas del M.T.N. 1: 50.000, núm. 629 (Toledo) y 657 (Sonseca). La altitud media es de 610 metros. La topografía se articula en torno a un gran eje hidrográfico: el río Tajo, cuyo valle constituye un elemento topográfico y geomorfológico de dimensión regional. Este hecho estructura las unidades topográficas en el sentido E-O, quedando al norte del valle



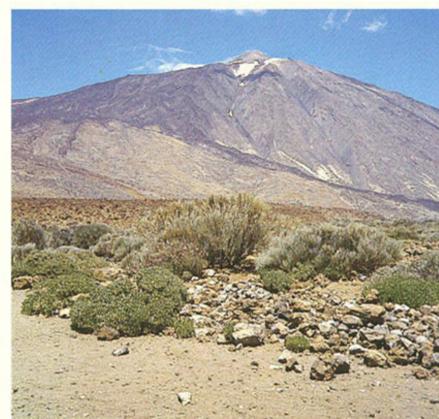
Morfología Kárstica. Campo de Lapiatz de Pináculos. Isla de Mallorca. (Foto: J. Muñoz)



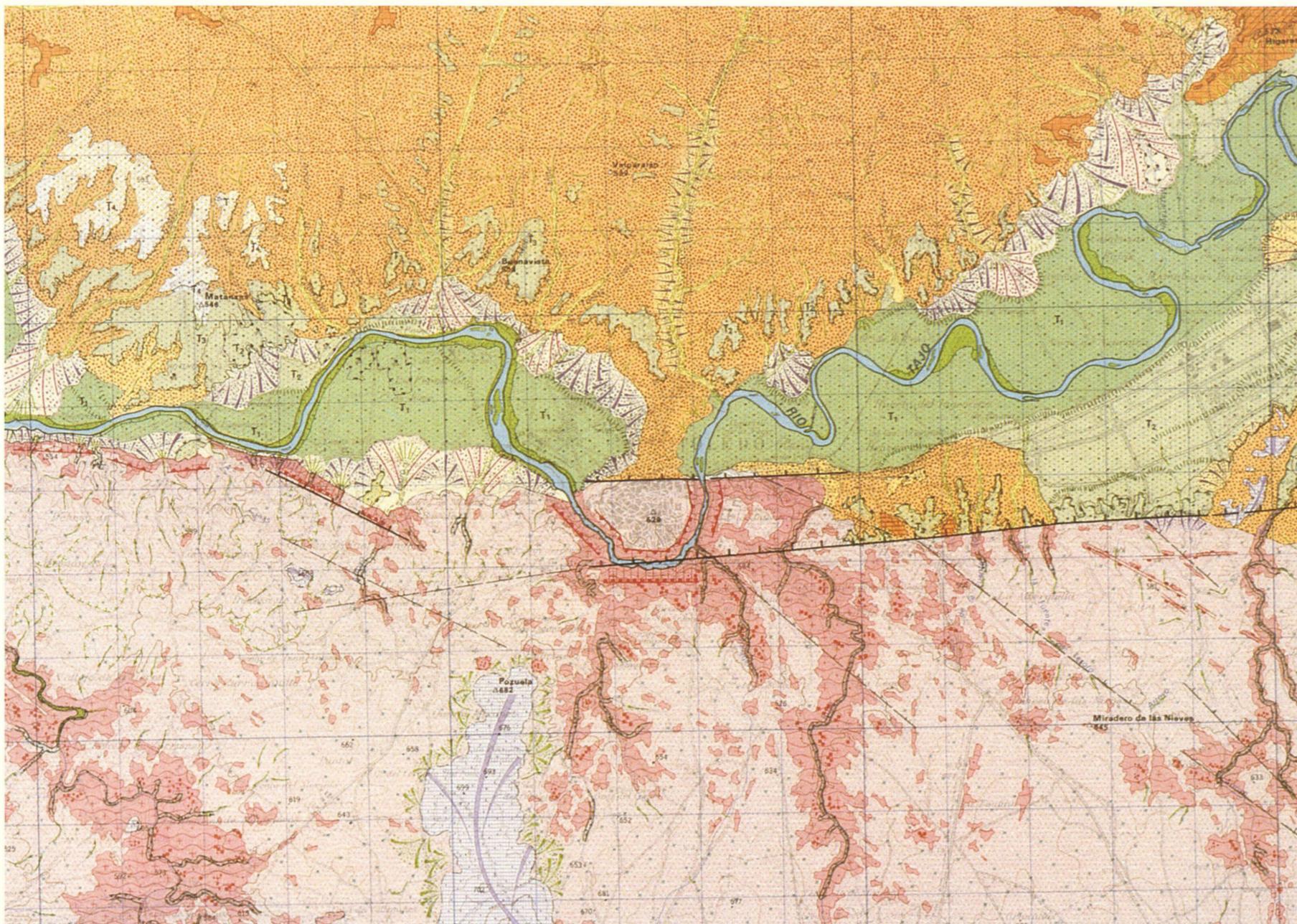
Morfología volcánica. Coladas lávicas. Isla de Lobos (Foto: M. Herrero)



Morfología del dominio árido. Cuenca de Mula (Murcia) (Foto: M. Herrero)



Morfología volcánica. Cono volcánico del Teide (Tenerife) (Foto: M. Herrero)



Fragmento (facsimil) del Mapa Geomorfológico Toledo-Sonseca. Escala 1:50.000 (Miguel Herrero, IGN)

**1. BASE TOPOGRÁFICA**

- A. -RED HIDROGRÁFICA ACTUAL**
- Rio
  - Arroyo de corriente continua
  - Arroyo de corriente intermitente
- B. -ALTIMETRÍA**
- Curvas de nivel
  - Punto cota de altitud
- C. -PLANIMETRÍA**
- Poblamiento, comunicaciones, div. administrativa, toponimia, etc.
  - Vértice geodésico

**2. ESTRUCTURAL**

- A. -LITOLÓGÍA**
- Migmatitas (a = Afloramientos masivos, b = Formación de alteración)
  - Calizas estratificadas (Cretácico?)
  - Caliza arenosa (Neógeno)
  - Arenas arcósicas con cantos (Facies de borde)
- B. -TECTÓNICA**
- Falla
  - Falla Probable
  - Escarpe original de falla
  - Escarpe de línea de falla
  - Filón intrusivo
  - Contacto normal (1) / Contacto discordante (2)

**3. FORMAS ASOCIADAS AL CONTEXTO ESTRUCTURAL**

- Tors
- Afloramientos sin forma definida
- Berrocales
- Superficie estructural

**4. ACCIONES FLUVIALES**

- A. -FORMAS**
- Zapamiento en la roca
  - Valle en V
  - Borde abrupto de terraza
  - Borde empinado de terraza
  - Borde difuminado de terraza
  - Lecho móvil
  - Canal calibrado (en lecho móvil)
  - Lecho rocoso
  - Lecho abandonado
- B. -FORMACIONES**
- Fondo de valle aluvial
  - Terraza aluvial de + 5 - 14 m.
  - Terraza aluvial de + 32 - 45 m.
  - Terraza aluvial de + 50 - 68 m.
  - Terraza aluvial de + 72 - 111 m.
- C. -FORMAS DE ORIGEN ANTRÓPICO**
- Explotación de gravera

**5. DOMINIO SUBTROPICAL HÚMEDO**

- A. -FORMAS**
- Pasillo de Arenización
- B. -FORMACIONES**
- Manto de alteración de textura arenosa

**6. DOMINIO PERIGLACIAR SECO**

- Glacis de acumulación
- Cono de deyección

**7. DOMINIO TEMPLADO SECO (MEDITERRÁNEO)**

- Abarrancamiento (surco de arroyada)
- Arroyada concentrada
- Cuenca de recepción torrencial
- Rambla
- Valle en V
- Valle de fondo plano
- Cono de deyección
- Bad land (cárcava)
- Glacis por derrame (epandage)

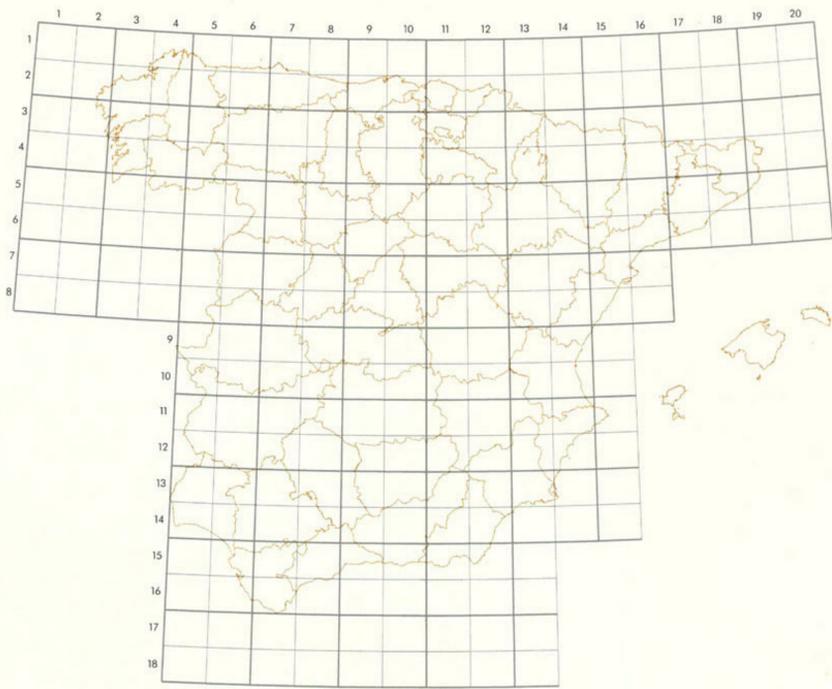
del Tajo la región de La Sagra, con formas suaves y altitud media de 504 m.; y al sur la meseta toledana de formas alomadas y valles encajados con una altitud media de 697 metros.

La organización morfoestructural comprende tres regiones con geología y morfoestructuras bien diferenciadas: El macizo cristalino de Toledo formado por migmatitas que constituyen un complejo geológico de alto metamorfismo correspondiente al Hercínico, junto con pequeños enclaves de rocas plutónicas. La cuenca terciaria del Tajo, formada por rocas sedimentarias del Terciario, correspondiendo las series más significativas al Mioceno (con alternancia de niveles de facies detríticas de borde y niveles calizos del Mioceno final). La llanura aluvial cuaternaria del valle del Tajo, está formada por depósitos pleistocenos y holocenos de origen fluvial que constituyen los niveles de terraza del Tajo y la llanura aluvial del curso actual sobre el fondo del valle. La morfología está constituida, de una parte, por formas estructurales directas como los escarpes de falla correspondientes a la tectónica alpina, que delimitan el macizo cristalino en el sector de Toledo; barras rocosas labradas sobre filones intrusivos; escalones tectónicos, etc. De otra parte, formas asociadas al contexto estructural como las formas residuales de tors, que han sido labradas en las rocas cristalinas dentro de los mantos de alteración generados por la acción de procesos físico-químicos bajo climas cálido húmedos, y puestas en superficie por efecto de la erosión diferencial; y superficies estructurales adaptadas a niveles calizos (más coherentes) dentro de la sedimentación de la cuenca terciaria.

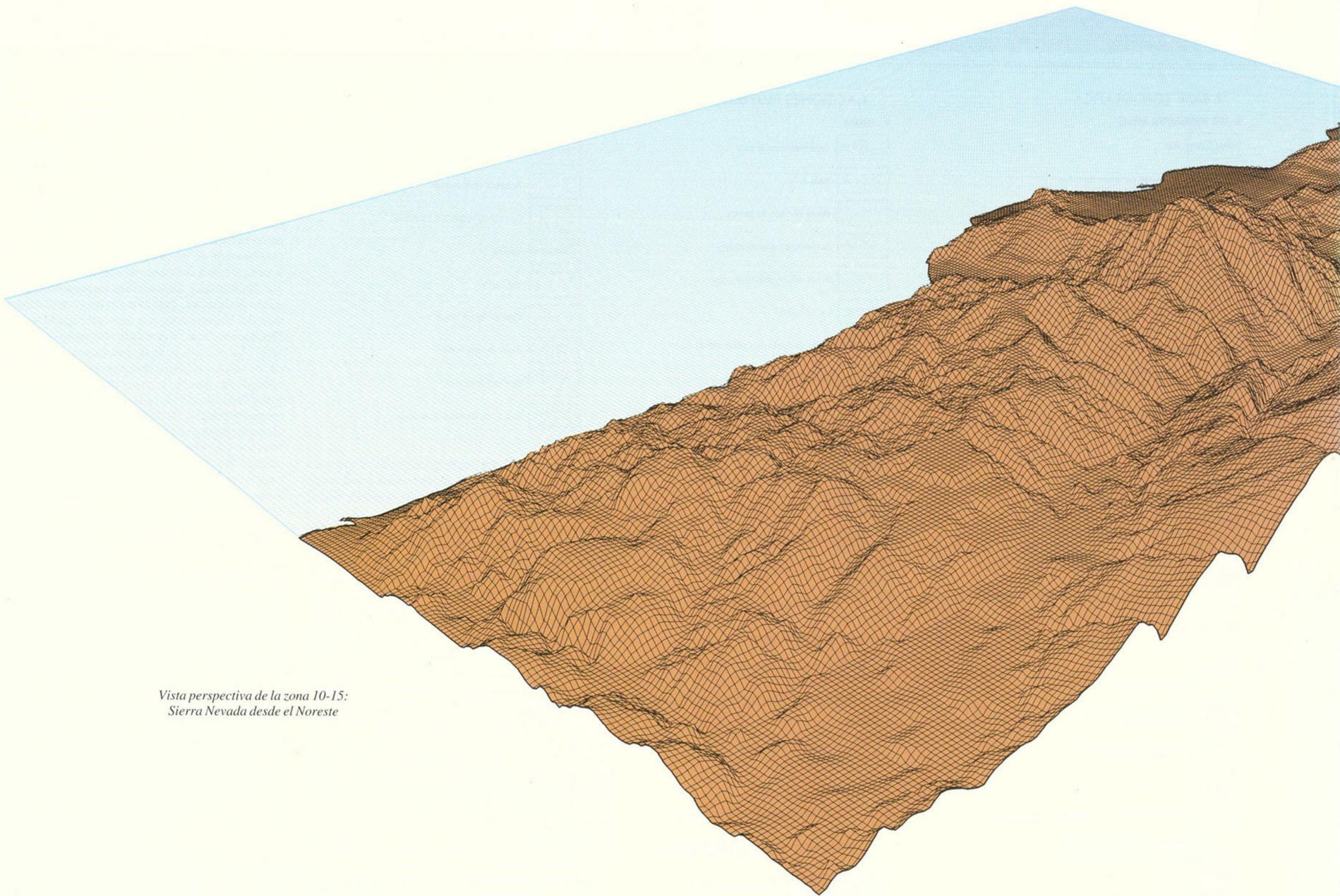
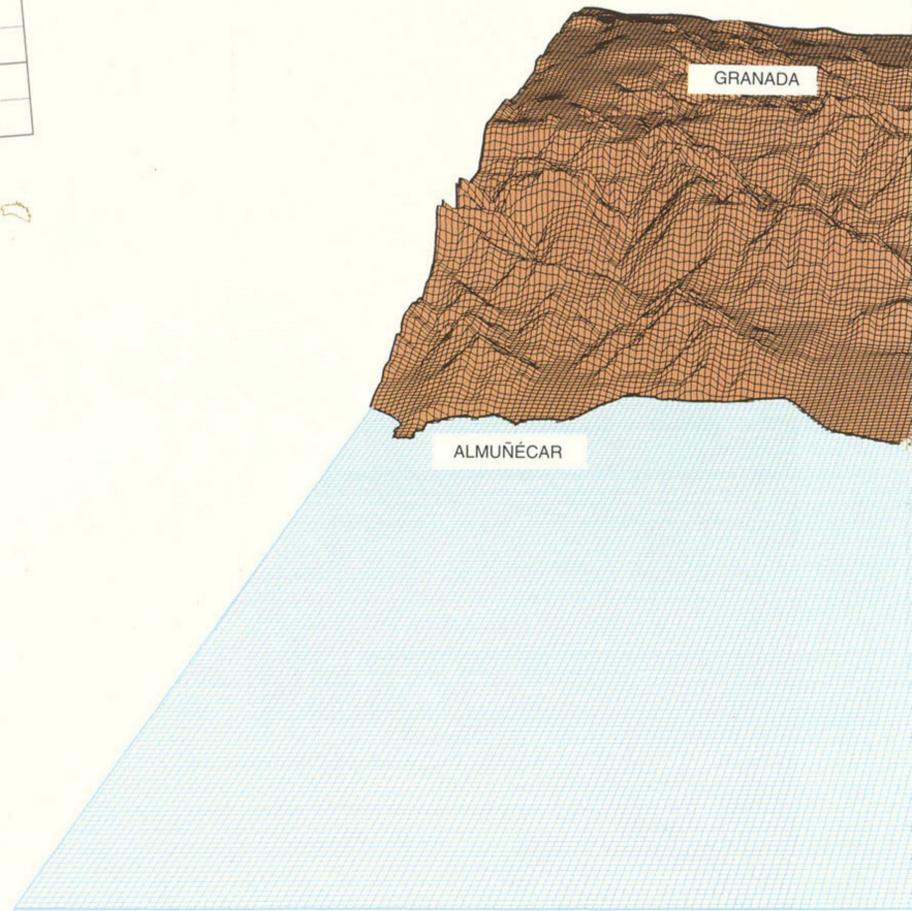
Por otra parte, formas fluviales derivadas de la acción erosiva de las aguas, como bordes de terrazas

trazado de meandros, perfiles de los lechos, etc.; y formaciones fluviales correspondientes a distintas pulsaciones climáticas dentro del Cuaternario.

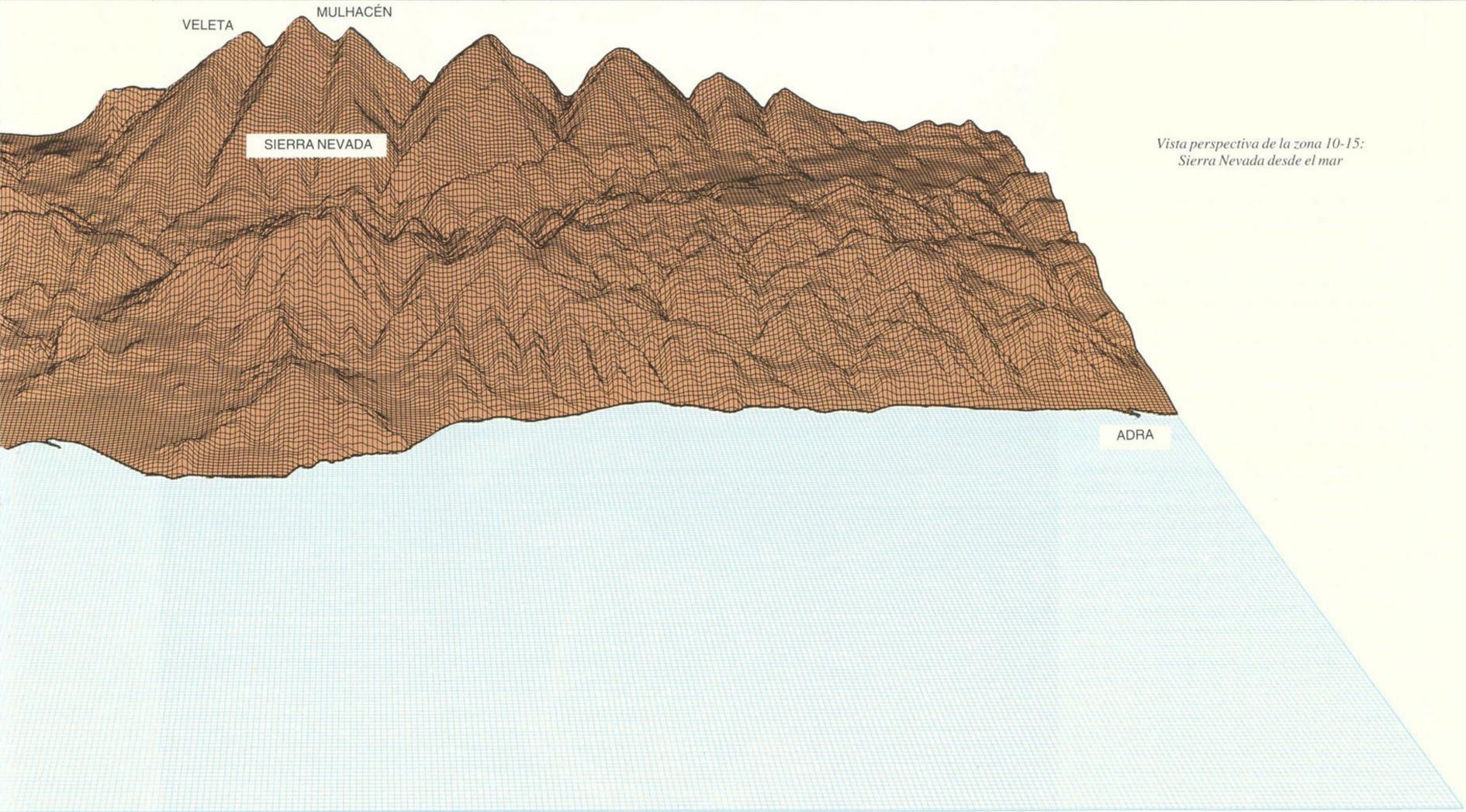
Las formas que han sido definidas por el Sistema Morfogenético correspondiente, se enmarcan dentro de tres de estos sistemas: En primer lugar, las morfologías relacionadas con un régimen morfoclimático subtropical húmedo, que han dejado su impronta sobre el macizo cristalino con formas de alveolización, pasillos de arenización y modelado granítico residual, con representación de los procesos correspondientes y de la textura arenosa del manto de alteración. En segundo lugar, las formas y formaciones correspondientes al dominio periglaciario, que tuvieron lugar en distintos estadios del Cuaternario, con especial significación en el Pleistoceno final, y que están formados por glacis de acumulación, glacis de denudación y mixtos, relacionados con los relieves más en resalte, que se sitúan en el borde del macizo y en los límites de las superficies estructurales, más elevadas, sobre los materiales de la cuenca terciaria; también son destacables pequeños conos de deyección y derrubios de gravedad por gelifracción que se esparcen generalizadamente sobre las laderas. Por último, las formas relacionadas con el dominio templado seco (Mediterráneo) actual, que ha retocado el paisaje geomorfológico con una dinámica erosiva que actúa con procesos de arroyada concentrada sobre los materiales deleznable de las vertientes generando surcos de arroyada, barrancos, cárcavas (paisajes de bad land) y depositando por otra parte pequeños conos y glacis por derrame (epandage). La historia de la evolución geomorfológica del territorio se interpreta a partir de la definición de las unidades morfoestructurales en el Terciario antiguo, correspondiendo la etapa anterior, que se dilataría hasta al Paleozoico inferior, al tiempo geológico. Esta etapa comienza en el Oligoceno con el inicio de la orogenia alpina, actuando con una tectónica de bloques que conformó las grandes unidades estructurales del sector, con la elevación del macizo cristalino de Toledo y el hundimiento de la fosa de la cuenca del Tajo, produciéndose la sedimentación de la cuenca durante todo el Terciario. Al final del Mioceno puede considerarse que reinó en la zona un ambiente cálido-húmedo que dio lugar a los mantos de alteración; instalándose a partir del Plioceno, bajo regímenes más áridos, procesos de erosión generalizados sobre el relieve. Durante el Cuaternario se suceden varias crisis climáticas frías que producen pulsaciones con deposición de materiales por parte de la red hidrográfica, formando terrazas, y el encajamiento de la misma sobre sus propios depósitos. La acción del último período frío, el Würm, ha generado los depósitos de gelifractos y fanglomerados sobre las vertientes. Por último, la acción de los agentes morfogenéticos bajo el dominio del clima mediterráneo continentalizado actual, ha retocado erosivamente el relieve dando una morfología más dinámica con formas actuales.



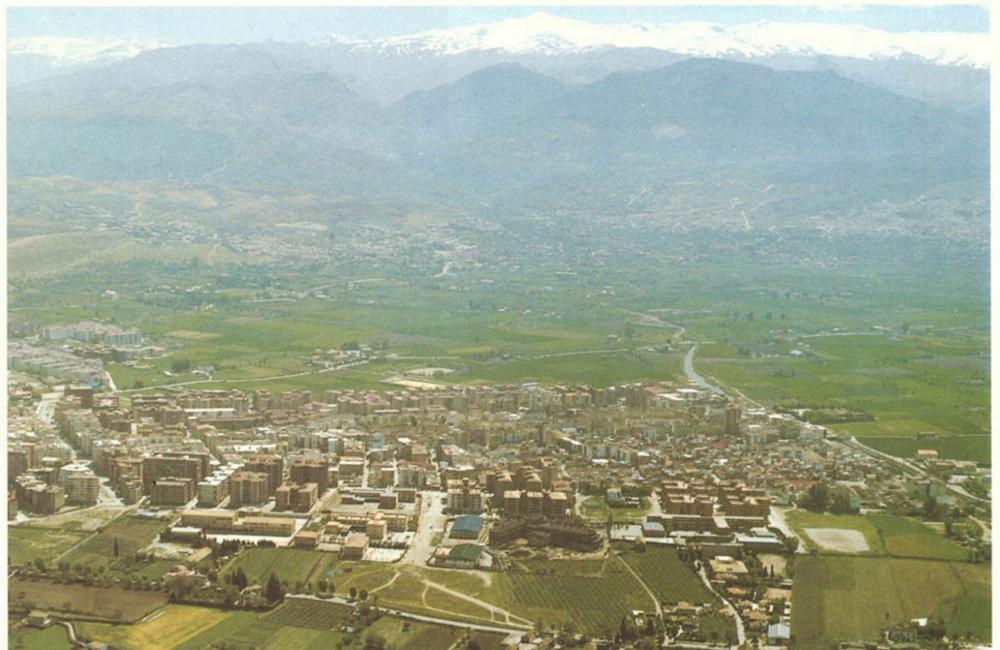
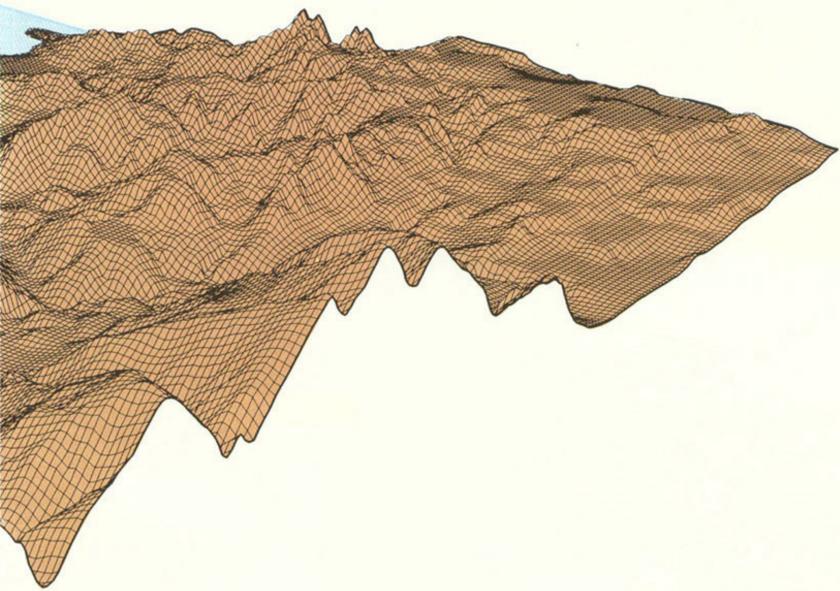
Mapa de distribución de las zonas que completan el Modelo Digital del Terreno MDT 200



Vista perspectiva de la zona 10-15:  
Sierra Nevada desde el Noreste



Vista perspectiva de la zona 10-15:  
Sierra Nevada desde el mar



Hoy día no existe la menor duda de que el espectacular desarrollo que ha venido y viene sucediéndose en relación con las modernas tecnologías informáticas ha revolucionado todas las áreas de actividad humana sin dejar resquicio alguno. La cartografía y, en particular, la representación del relieve del territorio no podían ser una excepción.

En efecto, como consecuencia de los avances que han experimentado las técnicas de digitalización de cualquier tipo de información gráfica, la cartografía se ha beneficiado de la posibilidad de poner sus documentos fuente, auxiliares, finales y derivados (fotografías, minutas, mapas, etc.) en forma digital, es decir, a disposición de ser introducida y utilizada por un ordenador.

Consideremos las curvas de nivel que un usuario de un mapa topográfico encuentra normalmente como representación del relieve del terreno. Una vez puestas en forma digital, o digitalizadas, pueden manipularse utilizando programas de diseño gráfico asistido por ordenador que se encuentran sin dificultad en el mercado. Así, por ejemplo, pueden visualizarse las curvas de nivel en un monitor y efectuar cómodamente las operaciones que se crean oportunas, tales como variar las características de la visualización (colores, grosores de línea, etc.), eliminar curvas para modificar la equidistancia de las mismas (diferencia de altitud entre dos adyacentes) o, en general, corregir errores presentes en el mapa original. A continuación, utilizando un dispositivo de trazado automático conectado al ordenador, puede obtenerse inmediatamente un nuevo mapa actualizado sobre papel o sobre el soporte adecuado para constituir el original de una nueva edición. Si éstas y otras muchas ventajas no mencionadas se hacen extensibles al resto de la información de un mapa, puede comprenderse lo que ha significado la inter-

acción del ordenador en los procesos cartográficos. Existen, sin embargo, otras formas de digitalización del relieve que ofrecen una facilidad muy superior de uso a través del ordenador para aplicaciones de tipo científico o para obtener distintas representaciones del terreno. Son los denominados Modelos Digitales del Terreno (MDT) de los que, si bien podrían enumerarse diferentes tipos según se adaptan mejor a cometidos específicos o a formas especiales del terreno, las mallas regulares constituyen quizás el ejemplo más sencillo y versátil.

Es fácil imaginar una malla de celdas rectangulares o cuadradas superpuesta a un determinado mapa. Consideremos que cada grupo de líneas paralelas es equidistante, esto es, que se trata de una malla regular, y que en cada punto de cruce de dos líneas perpendiculares se conoce la altitud del terreno. La obtención de una malla como la citada en forma digital, esto es, de un modelo digital del terreno, puede hacerse por técnicas de medición directa sobre fotografías aéreas o por procedimientos indirectos a partir de información ya existente, por ejemplo, curvas de nivel digitalizadas, empleando complejos programas de cálculo automático.

La cualidades de una malla regular dependen de la precisión con que hayan sido obtenidas las altitudes de sus puntos, pero también de una buena elección de su ancho de malla, es decir, de la equidistancia de cada uno de los dos grupos de líneas que la conforman al cruzarse. Suponiendo que se pretenda, por ejemplo, obtener representaciones gráficas de cierta tipología de terreno y a una determinada escala, un ancho de malla demasiado grande determinará una falta de detalles inadmisibles. Si por el contrario el ancho de malla es demasiado pequeño, dificultaremos la labor del ordenador al suministrarle más información de la necesaria.

Foto oblicua del embalse de Almendra

El Instituto Geográfico Nacional ha completado un modelo digital del terreno de toda España consistente en una malla de celdas cuadradas con un ancho de 200 m. Para la obtención de este modelo se han seguido procedimientos indirectos a partir de la orografía en forma digital (principalmente curvas de nivel) correspondiente al Mapa Provincial a escala 1:200.000. Esta es la razón por la que ha sido denominado MDT200, aunque el nombre parece más bien aludir al ancho de malla que, en realidad, proviene de haber tomado 1 mm a la escala original.

Por razones de viabilidad técnica el MDT200 se ha ido completando, para la parte peninsular, por zonas que comprenden medio grado de latitud por tres cuartos de grado de longitud geográficas. La distribución de estas zonas cubriendo toda la península puede verse en el mapa que figura en la parte superior izquierda de la página. Para los archipiélagos, las zonas se corresponden con cada una de las islas principales con sus islas menores adyacentes en cada caso.

En las páginas anteriores pueden verse dos representaciones en perspectiva del terreno comprendido en la zona de la columna 10 y la fila 15 (según la numeración que aparece en el citado mapa de distribución) perteneciente en su mayor parte a la provincia de Granada. En síntesis cada una de ellas puede considerarse la simulación por ordenador, utilizando el MDT200, de una fotografía — en realidad se trata de una proyección central pura — obtenida con una hipotética cámara de 500 mm de distancia focal situada a unos 85 km del centro de la zona y 25 km de altura. Las altitudes del terreno han sido amplificadas tres veces para que puedan apreciarse mejor los detalles del relieve.

En la primera de ellas la cámara «disparó» su fotografía desde el Sur y en dirección Norte. Al fondo Sierra Nevada llama inmediatamente nuestra atención observándose los picos de Veleta y Mulhacén a la izquierda. También se aprecia con claridad el recorte de la costa entre las inmediaciones de Almuñecar y Adra ya en la provincia de Almería. La ciudad de Granada está situada en la esquina superior izquierda del dibujo, y las Alpujarras quedan representadas en la parte derecha subiendo desde la costa hacia Sierra Nevada. Resulta interesante comparar la representación de los mismos detalles en la segunda vista perspectiva, obtenida suponiendo ahora la cámara «situada» al Noreste y la «dirección de toma» hacia el Suroeste.

El Instituto Geográfico Nacional está actualmente produciendo un nuevo modelo digital del terreno, MDT25, de superior calidad. Se trata de una malla de celdas cuadradas, con un ancho de 25 m y obtenida a partir de la orografía en forma digital del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000. En este caso la malla se completa por zonas que corresponden estrictamente a las hojas de la citada serie topográfica que produce y edita el I.G.N.

En esta página puede verse una representación en perspectiva del terreno comprendido en la hoja 423-2 ubicada entre las provincias de Zamora y Salamanca. Dado que la extensión que ocupa una hoja del M.T.N. 1:25.000 es muy inferior a las zonas del MDT200, para obtener representaciones de tamaño similar es necesario situar el punto de vista — «la cámara» — mucho más cerca del terreno. En este caso, se ha situado 13 km al sur del centro de la



hoja y a 8 km de altura; y las altitudes se han amplificado 2 veces.

La porción plana de terreno delimitada por la línea interior de trazo grueso representa el embalse de Almendra. En la parte inferior izquierda puede apreciarse con claridad la ubicación de la presa de Almendra, tras la que continúa el cauce del río Tormes.

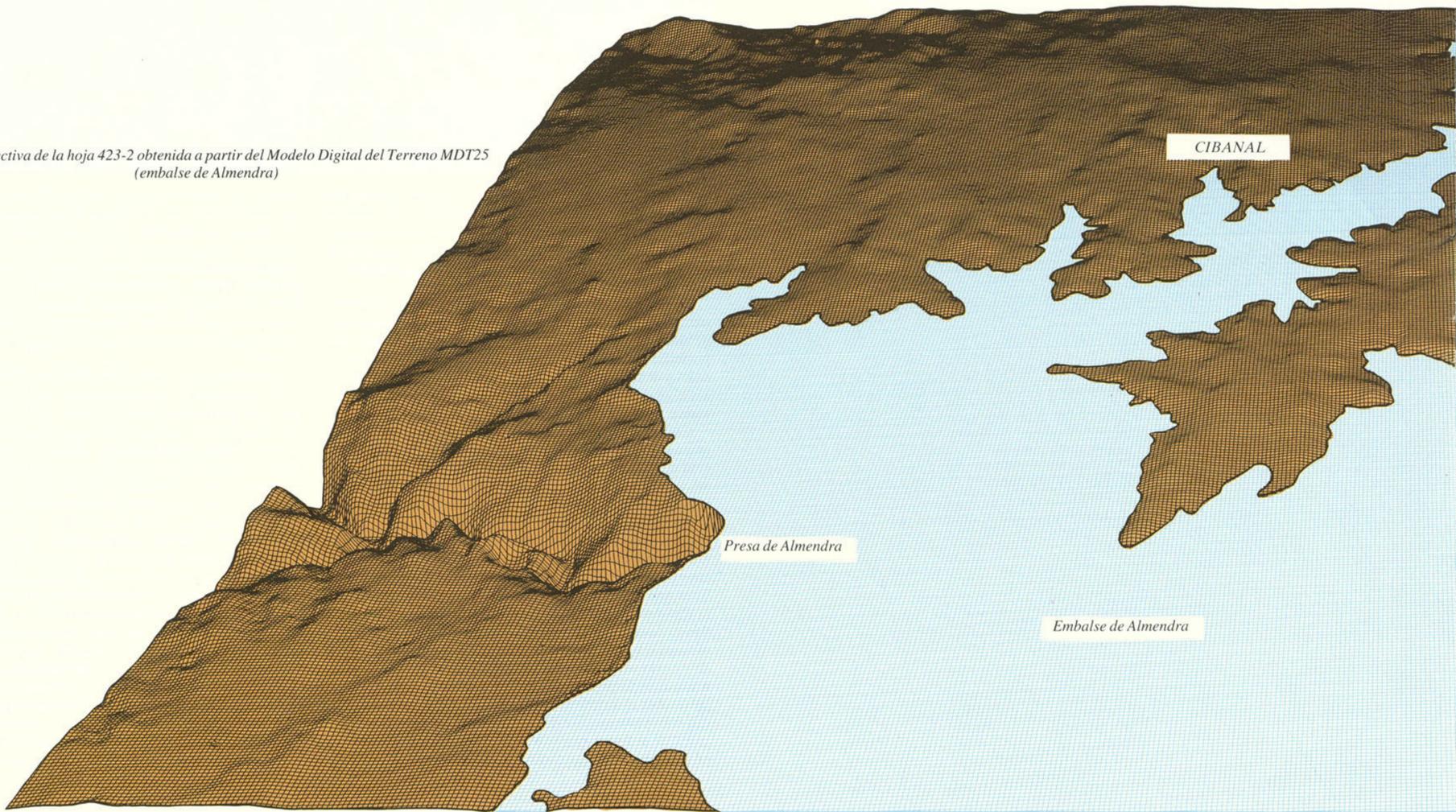
Asimismo es identificable el núcleo urbano de Cibanal, en el entrante del agua que delimitan los parajes de El Castellón y Monte de la Vega.

A la derecha de la fotografía oblicua se observa el extremo occidental de la punta del paraje de Navalacierva.

Estos y otros detalles de la representación en perspectiva pueden identificarse tomando como referencia la reproducción de la hoja publicada que aparece en estas mismas páginas, y una vista aérea del embalse en el que se observa la presa y una pequeña península situada en el centro de la representación por ordenador del MDT.

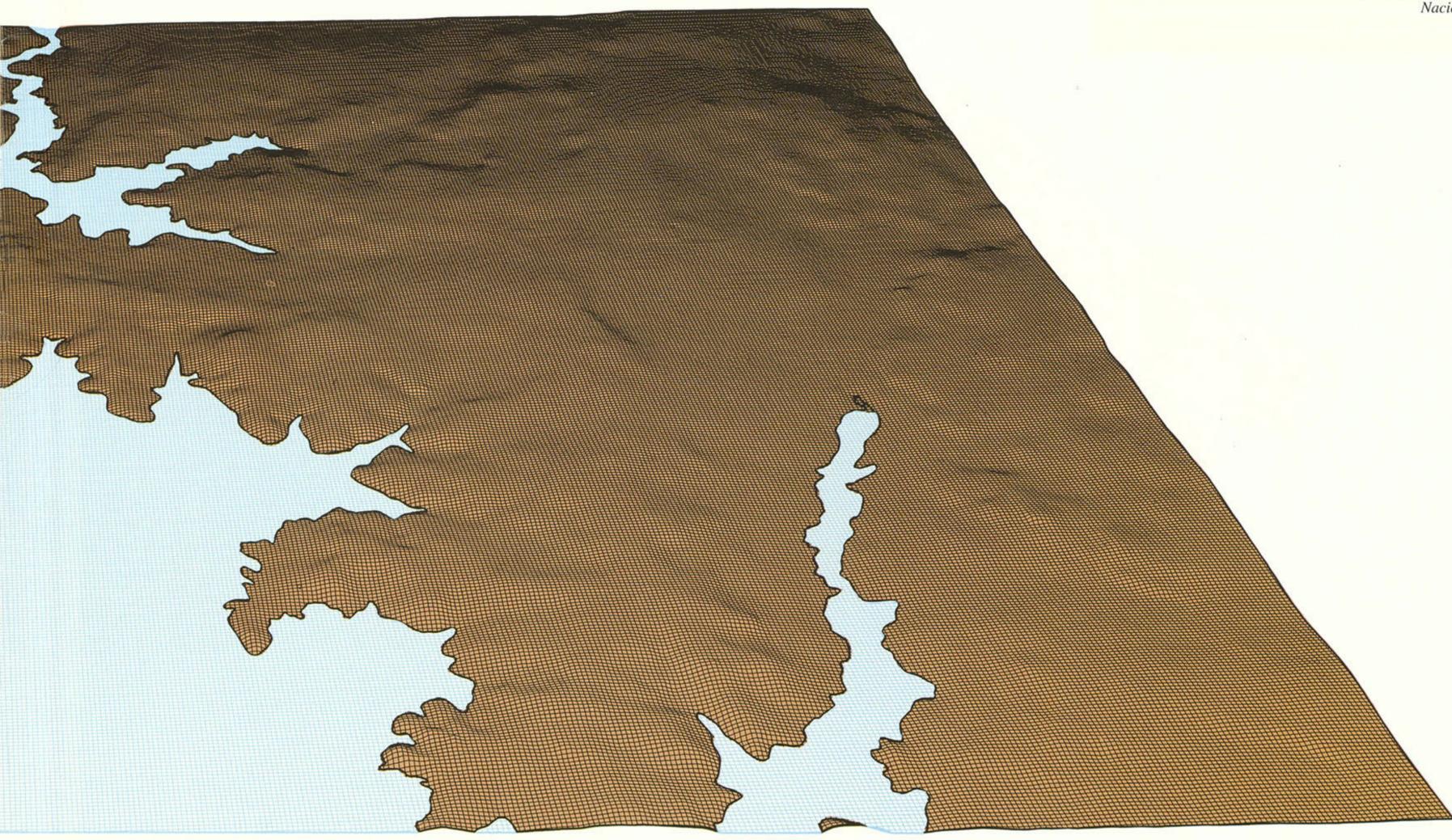


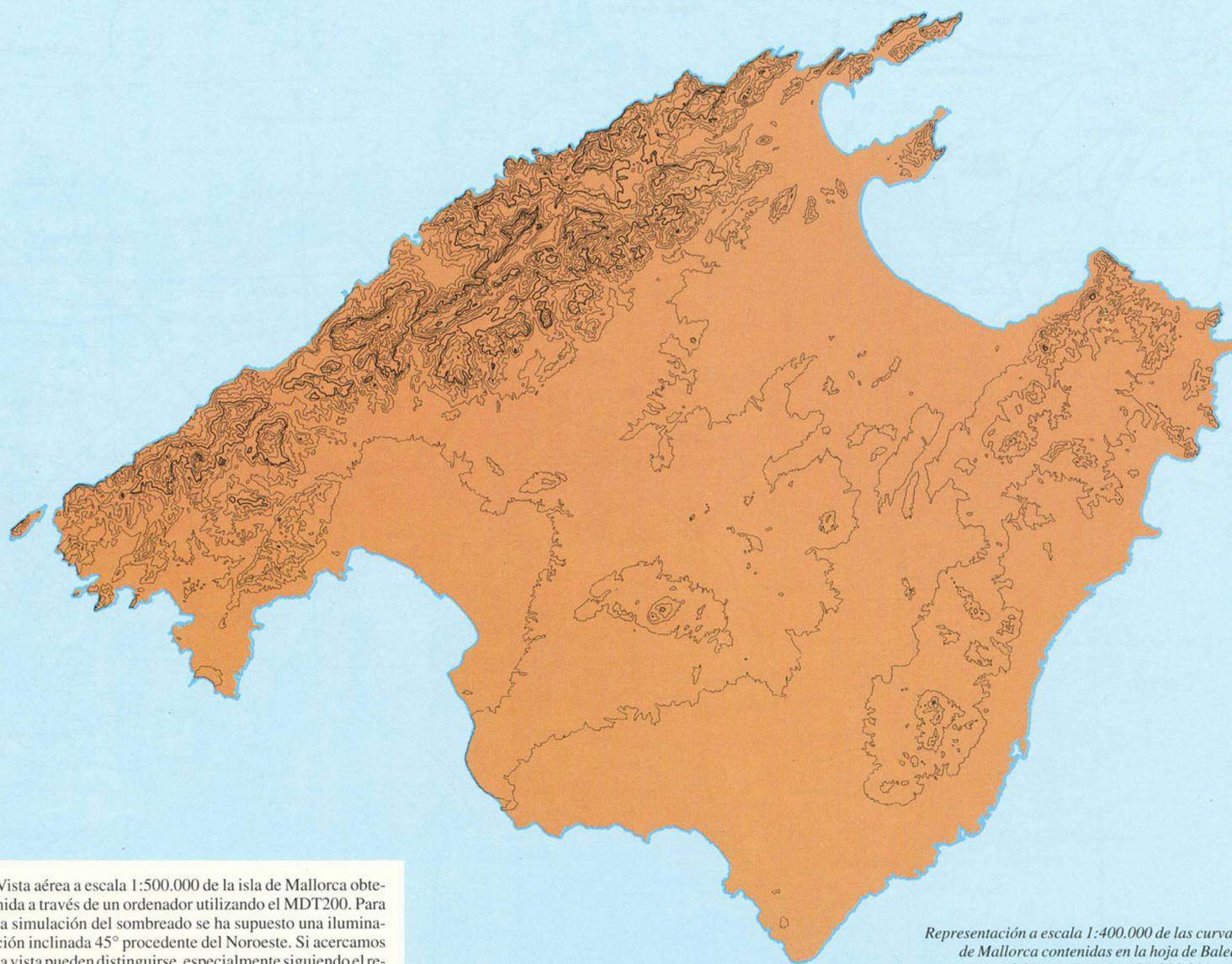
Vista perspectiva de la hoja 423-2 obtenida a partir del Modelo Digital del Terreno MDT25 (embalse de Almendra)





Reproducción de la hoja 423-3 del Mapa Topográfico Nacional 1:25.000





*Representación a escala 1:400.000 de las curvas de nivel de Mallorca contenidas en la hoja de Baleares del Mapa Provincial 1:200.000*

Vista aérea a escala 1:500.000 de la isla de Mallorca obtenida a través de un ordenador utilizando el MDT200. Para la simulación del sombreado se ha supuesto una iluminación inclinada 45° procedente del Noroeste. Si acercamos la vista pueden distinguirse, especialmente siguiendo el recorte de la costa, las celdas de 200 m que componen la malla del MDT200.

El detalle orográfico más relevante es la Sierra de la Tramuntana cuyas estribaciones se suceden desde el suroeste de la isla al noreste de forma casi paralela a la costa. Hacia la mitad de la Tramuntana puede distinguirse la ensenada del puerto de Sóller y el llano que conduce a la población de Sóller, a cuyos pies se levanta la Sierra de Alfàbia. Otros detalles muy conocidos nos ayudan a referenciarlos rápidamente, como la bahía de Palma al suroeste, las bahías de Pollensa y Alcúdia al noreste, las islas de Cabrera y Conejera al sur y la isla Dragonera al oeste.

En la mitad superior de la página se ilustra un mapa, también obtenido a través del ordenador, con la representación a escala 1:400.000 de las curvas de nivel originales que intervinieron en la obtención de la parte del MDT200 correspondiente a la isla de Mallorca, pudiendo observarse la fiabilidad con que se ha obtenido el modelo.



*Vista aérea de la isla de Mallorca a escala 1:500.000*

# INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL ATLAS NACIONAL DE ESPAÑA

Director General:  
ANGEL ARÉVALO BARROSO

Jefe del Area de Cartografía Temática y Atlas Nacional:  
FERNANDO ARANAZ DEL RÍO  
Director del Proyecto

Subdirector General de Procesos Cartográficos:  
ANGEL GARCÍA SAN ROMÁN

Coordinación Científica:  
VICENTE GABALDÓN LÓPEZ  
Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE)

LORENZO GARCÍA ASENSIO  
Instituto Geográfico Nacional (IGN)

Coordinación General y Redacción Cartográfica:  
ALFONSO C. SANZ NÚÑEZ (IGN)

Producción General:  
MARÍA DOLORES ABAD MOROS (IGN)

Edición y Trazado:  
JOSÉ CEBRIÁN PASCUAL (IGN)

Laboratorios y Talleres:  
CARLOS CIRUELOS GUIJARRO (IGN)

## COLABORADORES CIENTÍFICOS

Ardizone García, Juan A. Rafael (IGN) Magallanes Pernas, Luis (SGE)  
Arozarena Villar, Antonio (IGN) Muñoz Jiménez, Julio (UCM)  
Baena Pérez, José (ITGE) Quesada Ochoa, Cecilio (ITGE)  
Bellido Mulas, Félix (ITGE) Rodríguez Fernández, Luis Roberto (ITGE)  
Heredia Carballo, Nemesio (ITGE) Saúco Escudero, Agueda (IGN)  
Herrero Matías, Miguel (IGN)

## EQUIPO DE REDACCIÓN

Alarma López, Carmen (IGN) Lumbreras Crespo, José Javier (IGN)  
Albert Fernández, María Teresa (IGN) Martín-Asín López, Gema (IGN)  
Bordiú Barreda, Elena (IGN) Medina Pérez, Vicente (IGN)  
Carmona García, Carmen (IGN) Ors Iriarte, Ramón (IGN)  
Corchero Nevado, Benito Eduardo (IGN) Revuelta Marbán, José (IGN)  
Gómez Sánchez, Diego (IGN) Robles Heras, Carlos Javier (IGN)  
Iguacel Abeigón, Cristina (IGN) Rubalcaba Bermejo, Raquel (IGN)  
Jack Sanz-Cruzado, Belén (IGN)

## ORGANISMOS E INSTITUCIONES PARTICIPANTES

Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE)  
Servicio Geográfico del Ejército (SGE)  
Universidad Complutense de Madrid (UCM)

## COLABORADORES

Alonso Tagle, Bárbara (IGN)  
Alvarez García, Guillermo (IGN)  
Alvarez Martínez, Paloma María (IGN)  
Amo Manrique, Francisco Javier (IGN)  
Arqués Orobón, Miguel A. (IGN)  
Barbadillo Royuela, Virginia (IGN)  
Barredo Montenegro, Isaac (IGN)  
Barrio Hijosa, Purificación (IGN)  
Camaño Herráez, José María (IGN)  
Camargo de Prádena, Alfonso (IGN)  
Cárceles Asensio, María (IGN)  
Carrasco Pérez, Laura (IGN)  
Carrasco Pérez, Mercedes (IGN)  
Cervantes Noriega, Francisco M. (IGN)  
Corchero González, Eduardo (IGN)  
De Gea Elvira, Francisco José (IGN)  
Durango Sesmero, José Luis (IGN)  
Echevarría Daspel, Pilar (IGN)  
Esteban Yela, José Luis (IGN)  
Fe Marugán, Emilio (IGN)  
Fuente Arenas, Francisco de la (IGN)

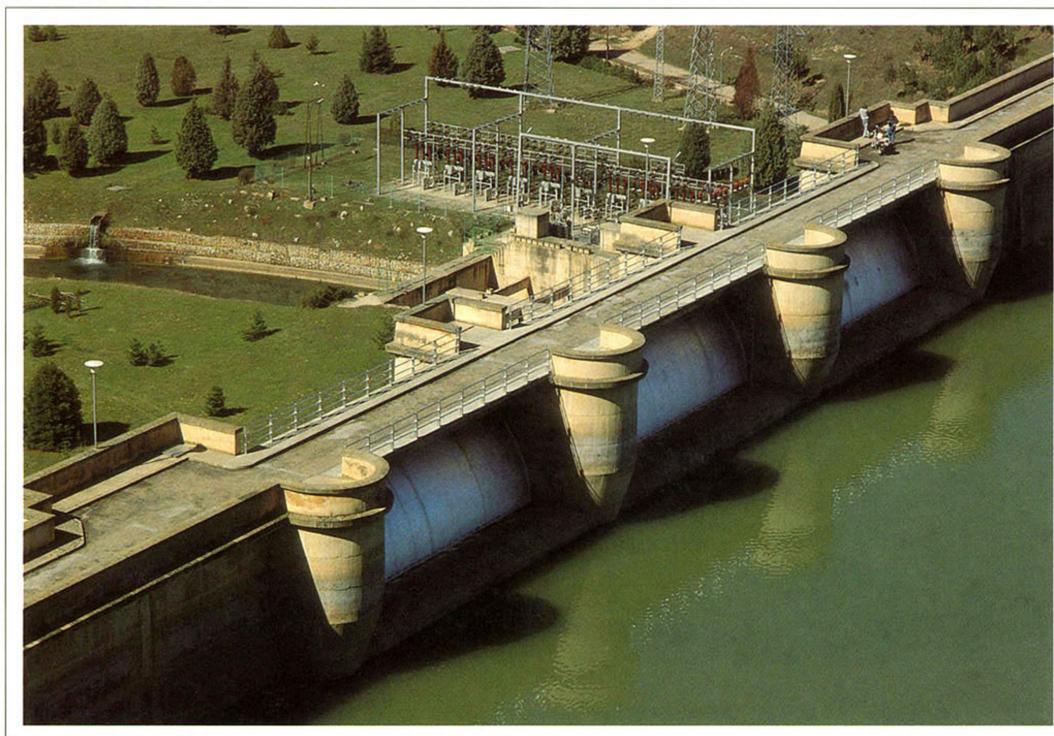
Fuentes Mata, José Enrique (IGN)  
Gallardo Roldán, Francisco Javier (IGN)  
García Martínez, Esteban (IGN)  
García Redondo, Enrique (IGN)  
García Rodríguez, Juan Antonio (IGN)  
Gilolmo Fernández, Silvia (IGN)  
Gómez Romero, Consuelo (IGN)  
Gómez Tejedor, José Luis (IGN)  
Grabán Martínez, Manuel (IGN)  
Gutiérrez Cabañas, Pilar (IGN)  
Haro Monreal, Francisco de (IGN)  
Haro Monreal, Luis Rafael de (IGN)  
Herrero Jiménez, Carlos Miguel (IGN)  
Herrero Perdiguero, Carlos (IGN)  
Jándula Hernández, Juan (IGN)  
Jiménez Jiménez, María del Carmen (IGN)  
López-Cózar Pita, Luis (IGN)  
López Parras, Juan Miguel (IGN)  
López Picazo, Alfonso (IGN)  
López Varela, Rafael (IGN)  
Llerena de la Torre, Amelia (IGN)

Martín Arribas, Rosario (IGN)  
Martín Vicente, Florencio (IGN)  
Mata Ruiz, Santiago (IGN)  
Mateos Guijarro, Juan Tomás (IGN)  
Mayordomo Bustos, Daniel (IGN)  
Medina Domínguez, Ana Isabel (IGN)  
Mesa Martínez, Manuel (IGN)  
Millán Juncos, Fabiola (IGN)  
Mombona Fedriani, Domingo (IGN)  
Montero Guardiola, Luis Miguel (IGN)  
Nobre Godoy, María Luisa (IGN)  
Ortiz Valbuena, Javier (IGN)  
Ortuño Torres, Rosa María (IGN)  
PAISAJES ESPAÑOLES, S. A.  
Parrondo González, Eugenio (IGN)  
Pérez Heras, Adolfo (IGN)  
Prada González, José (IGN)  
Prada Mostaza, Paz (IGN)  
Rimón Ruiz, Teresa del Carmen (IGN)  
Rivas Vega, Torcuato (IGN)  
Rodero Rubio, Segundo (IGN)

Rosales García, Antonio José (IGN)  
Rosales García, Teresa María (IGN)  
Rosas González, María Cruz (IGN)  
Rueda Suárez, Vicente (IGN)  
RUGOMA, S. A.  
Ruiz Otero, Francisca (IGN)  
Sáez Pintado, María Angeles (IGN)  
Salamanca Pérez, Francisco (IGN)  
Sánchez Gutiérrez, Narciso (IGN)  
Sánchez Melo, Víctor (IGN)  
Sánchez Perea, Amparo (IGN)  
Sánchez Rosado, Luis (IGN)  
Utande Sebastián, María de los Angeles (IGN)  
Valverde Nieto, Angel (IGN)  
Vara Gordillo, Carmen (IGN)  
Yagüe Muñoz, Carmen (IGN)  
Yagüe Rollon, María Teresa (IGN)  
Zamorano Añonuevo, Inmaculada (IGN)  
Zamorano Blat, José Luis (IGN)  
Zamorano García, José Luis (IGN)

PRÓXIMA PUBLICACIÓN

# HIDROLOGÍA



## CONTENIDO

El agua en la Tierra  
Organización administrativa  
Factores climáticos  
Infraestructura hidráulica  
Recursos hidráulicos  
Aforos  
Zonas húmedas

Aguas Subterráneas  
Características físico-químicas del agua  
Presas, embalses  
Ingeniería hidráulica  
Inundaciones históricas  
Usos, demandas y balances  
Baleares y Canarias

### COMERCIALIZA:



CENTRO NACIONAL DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Fax 2546743  
Tel. (91) 5 33 38 00  
General Ibáñez de Ibero, 3 - 28003 MADRID