

ALFONSO YÉBENES\*

## ESTRATIGRAFÍA Y ESTRUCTURA DE LA SERRA GELADA

### RESUM

Podem considerar la Serra Gelada com un relleu estructural asimètric modelat sobre materials calcaris del juràssic superior-cretaci inferior. Correspon a una estructura de tipus monoclinal, orientada en direcció N50-60°E i amb un cabussament de 20-30° vers NNW, delimitada per falles.

Hom descriu les característiques litològiques de la successió estratigràfica mesozoica, que és constituïda per set unitats fonamentals, de naturalesa predominantment calcària i margosa, l'edat de les quals abasta des del portlandià fins a l'albià superior. També són revisats els dipòsits quaternaris que completen el registre estratigràfic de la Serra.

La individualització i estructuració tectònica del conjunt rocallsós es considera el resultat de l'actuació de tres processos tectònics: la compressió bètica general, l'acció de les falles d'estripament i l'activitat diapírica. Hom estudia les proves que demostren l'activitat neotectònica i la tectònica activa.

### ABSTRACT

Serra Gelada mountain may be viewed as an asymmetrical structural relief engraved on calcareous materials of upper Jurassic to lower Cretaceous age. It consists of an homoclinal structure, delimited by faults, with a N50-60°E strike and dipping at 20-30° to the NNW.

Lithological characteristics of the well exposed mesozoic stratigraphical succession are described and seven units, dominantly calcareous and marly, and Portlandian to upper Albian in age, are established. Some quaternary deposits, are also described.

Individualisation and structuration of this massif is considered to be the result of three main tectonic processes: general Betic compression, wrench faulting and diapiric activity. Evidences of neotectonic and active tectonic are presented.

### RESUMEN

La Serra Gelada puede considerarse como un relieve estructural asimétrico modelado sobre materiales calcáreos del Jurásico superior-Cretácico inferior. Corresponde a una estructura de tipo

\* Instituto de Bachillerato, Altea, Alicante.

homoclinal, orientada en dirección N50-60°E y con un buzamiento de 20-30° hacia el NNW, delimitada por fallas.

Se describen las características litológicas de la sucesión estratigráfica mesozoica, que está constituida por siete unidades fundamentales, de naturaleza predominantemente calcárea y margosa, cuya edad abarca desde el Portlandiense hasta el Albiense superior. También se revisan los depósitos cuaternarios que completan el registro estratigráfico de la Serra.

La individualización y estructuración tectónica del conjunto rocoso se considera el resultado de la actuación de tres procesos tectónicos: la compresión bética general, la acción de fallas de desgarre y la actividad diapírica. Se estudian las pruebas que demuestran la actividad neotectónica y la tectónica activa.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Serra Gelada es una pequeña alineación montañosa que se encuentra situada en el NE de la provincia de Alicante, separando las bahías de Altea y Benidorm. A lo largo de sus 6 km de extensión muestra un perfil asimétrico muy característico. En efecto, su flanco SE corresponde a una impresionante costa acantilada, con alturas que superan los 400 m, en la que alternan los tramos de tipo cantil-talud, y a veces cantil-talud-cantil, con los de tipo *plunging*. Por contra, su flanco NW corresponde a una vertiente mucho más suave, de unos 21°, fuertemente diseccionada por la red de drenaje. Puede considerarse, por tanto, como un relieve estructural, modelado fundamentalmente sobre materiales calcáreos del Cretácico inferior, que constituyen una estructura homoclinal de dirección N50-60°E y buzamiento medio de unos 20°-30° hacia el NNW.

Desde un punto de vista geológico regional, la Serra Gelada se sitúa en las Zonas Externas de las cordilleras Béticas, más concretamente en el área nororiental del dominio interno de la Zona Prebética (VERA, 1983).

La primera referencia bibliográfica acerca de la geología de la Serra Gelada se remonta al año 1852 en que los franceses Verneuil y Coullomb la mencionan en su *Coup d'oeil sur la constitution géologique de quelques provinces de l'Espagne*. Posteriormente, Nicklés (1892), en su excelente obra sobre la geología de la provincia de Alicante, describe detalladamente la sucesión cretácica. Su descripción sería utilizada, sin grandes mejoras, por los autores posteriores que trabajan en la zona. Tan solo a partir de los años 1970, comienzan a realizarse estudios más refinados que culminan con la tesis doctoral de Granier (1987) y con los trabajos de Castro (1993, 1994). La estructura tectónica de la Serra no ha sido descrita hasta ahora con detalle y la mayoría de los autores se refieren a ella como el flanco sur del sinclinal de Benidorm (RÍOS *et al.*, 1961; MOSELEY *et al.*, 1981; etc.). En relación con los procesos neotectónicos, Navarro *et al.* (1959) afirman haber encontrado una terraza marina tirreniense que ha sido elevada unos 200 m sobre su posición original. Gaibar (1974) considera que la Serra ha sido amputada recientemente por una falla longitudinal y que, además ha experimentado un ligero basculamiento hacia el norte, probablemente posterior al Tirreniense. Recientemente, Rey *et al.* (1993) y Rosselló *et al.* (1995) destacan la influencia de los procesos neotectónicos en la geomorfología y sedimentología de las áreas continentales y marinas de la Serra Gelada y su entorno.

El objetivo de este artículo es doble. En primer lugar, el estudio estratigráfico de los materiales que constituyen la sucesión mesozoica y cuaternaria; en segundo lugar, la descripción detallada de la estructuración tectónica de la Serra. Un buen conocimiento

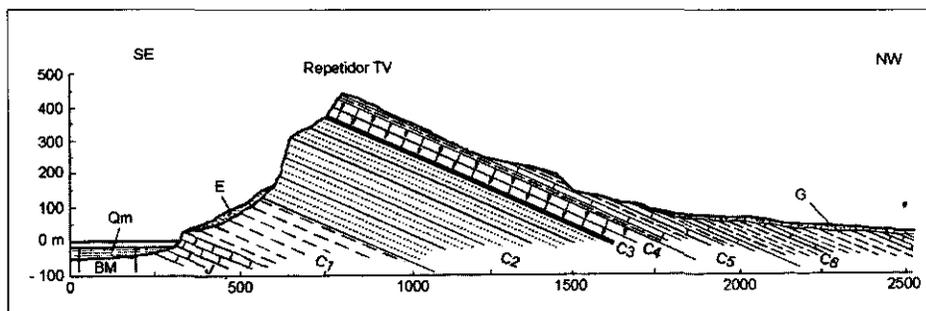


Fig. 1. Sección NW-SE de la Serra Gelada, a través del repetidor de TV (l'Alt del Governador, 438 m), que muestra la estratigrafía del Mesozoico y sus relaciones espaciales con los depósitos cuaternarios. *Mesozoico*: J: Calizas blancas con clipeínas. C1: Alternancia de margas y calizas con ammonites. C2: Areniscas calcáreas y calcarenitas. C3: Margas y calizas recifales. C4: Calizas con rudistas y ostreidos. C5: Calizas nodulosas, calcarenitas y margas. C6: Margas y calizas nodulosas. *Cuaternario*: Qm: Cuaternario marino (Tirreniense). E: Eolianitas (Tirreniense). G: Glacis. B.M.: Banda multifracturada.

litológico y estructural de este bloque resulta fundamental para la mejor comprensión de sus características morfológicas, además de ayudar en la correcta interpretación de sus depósitos cuaternarios.

## 2. ESTRATIGRAFÍA

El almacén mesozoico de la Serra Gelada está constituido por una sucesión de materiales predominantemente calcáreos, cuya edad se extiende desde el Jurásico superior hasta el Albiense superior. En ciertos puntos estos materiales se encuentran parcialmente recubiertos por depósitos cuaternarios que pueden llegar a alcanzar un desarrollo importante como ocurre en el talud de les Penyes de l'Albir (fig. 1). El mapa geológico de la figura 2 muestra la distribución de las diferentes unidades cartografiadas.

### 2.1. Unidades mesozoicas

En la sucesión mesozoica de la Serra Gelada, de más de 800 m de espesor, es posible diferenciar un conjunto de siete unidades litológicas que se describen a continuación, desde la base hasta el techo (fig. 3). Las edades asignadas a estas unidades, comprendidas entre el Jurásico superior y el Albiense superior, se basan en los estudios de Granier (1987) y Castro (1994). Ambos autores mantienen posturas muy ligeramente discrepantes respecto a la edad de las unidades C2, C3 y C4, que representan las facies urgonianas superiores. Se han aceptado las dataciones de Castro (1994) ya que los datos bioestratigráficos que proporciona parecen más completos.

#### *Calizas blancas con clipeínas (J)*

Los únicos afloramientos jurásicos aparecen al pie de los acantilados de la Serra, en el Morro de Sant Jordi y en l'Illa Mitjana, donde es posible observar los 50 m superiores de la unidad. Se trata de materiales del Jurásico superior terminal-Valanginiense inferior,

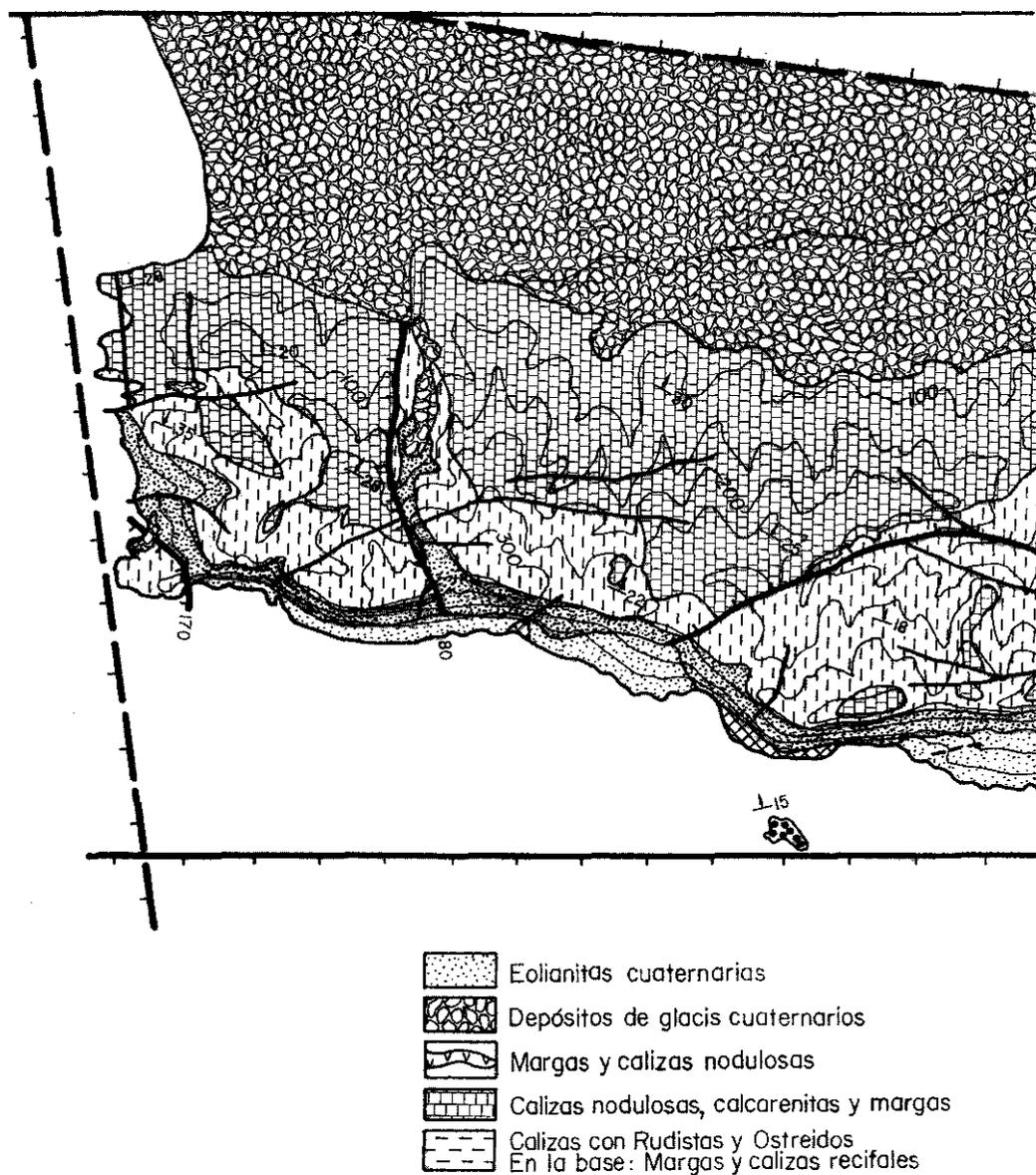
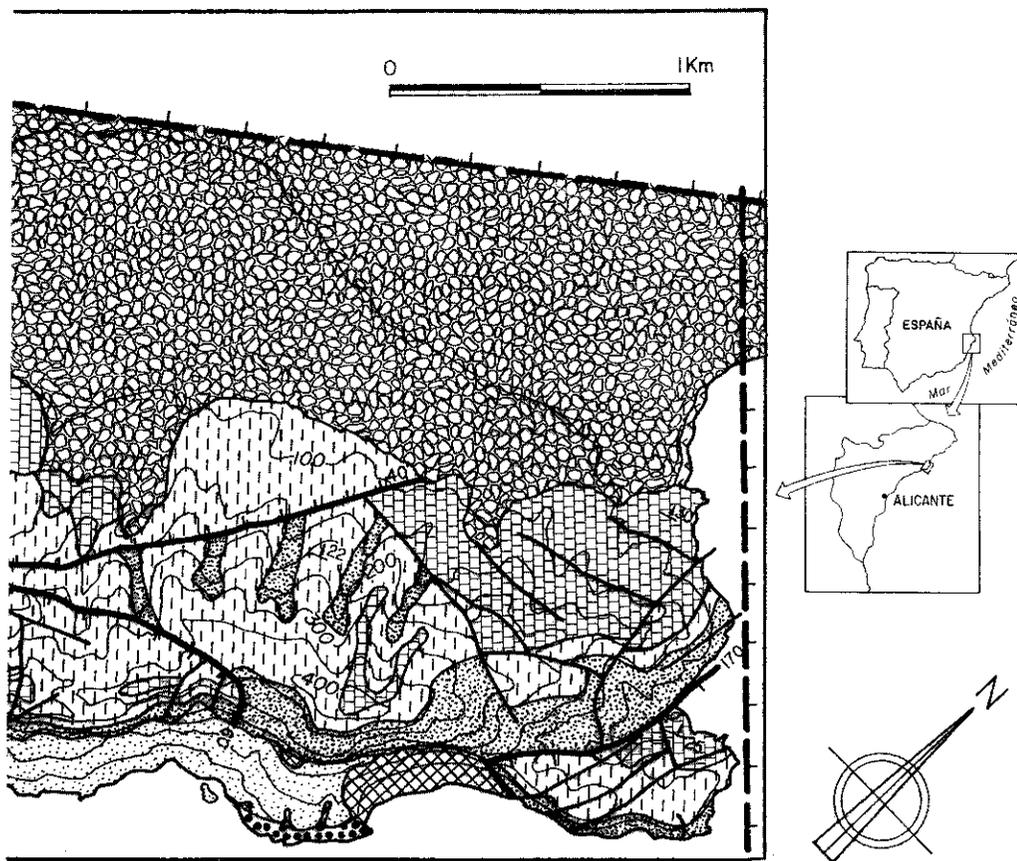


Fig. 2. Mapa geológico de la Serra Gelada.



-  Areniscas calcáreas y calcarenitas
-  Alternancia de margas y calizas con Ammonites
-  Calizas blancas con Clypeinas
- 80  Falla importante con valor del salto en m
-  Falla menor
-  Falla supuesta
-  Dirección y buzamiento

constituidos por calizas puras, grises, estratificadas en capas gruesas a muy gruesas. Petrológicamente incluyen *wackestones* y *floatstones* bioclásticos y peloidales con frecuentes restos de algas asi cladáceas, sobre todo clipeínas, foraminíferos bentónicos, gasterópodos, a veces de gran talla, y bivalvos. El techo de esta unidad viene marcado por una discontinuidad marcada por un *hardground* ferruginoso-fosfatado colonizado por corales y serpúlidos. La parte terminal de la unidad muestra intercalaciones de color anaranjado-amarillento, que corresponden a diques neptúnicos concordantes, y cavidades paleocársticas con rellenos de margas grises.

Los materiales de esta unidad se interpretan como sedimentos depositados en un contexto general de plataforma marina carbonatada, interna, muy poco profunda y de escasa energía. La posterior emersión de esta plataforma condujo a la formación de cavidades cársticas.

Las calizas que constituyen el conjunto de esta unidad son muy resistentes y, por ello, cuando afloran, siempre en la base de la fachada marina de la Serra, determinan la aparición de un acantilado inferior de tipo *plunging* cuya altura puede alcanzar los 50 m. En estos puntos, la vertiente marina adquiere una configuración cantil superior-talud-cantil inferior.

#### *Alternancia de margas y calizas con ammonites (C1)*

Alternancia rítmica de margas y calizas grises oscuras de edad aptiense (Bedouliense a Clansayesiense inferior) con un espesor que alcanza los 140 m. Los afloramientos aparecen exclusivamente al pie de la vertiente marina de la Serra y adquieren su máxima extensión en el sector sur del Cantalar. Tapizando la superficie ferruginosa con que termina la unidad subyacente, aparece en ligera discordancia angular un nivel condensado de color amarillento, de espesor variable entre 0 y 30 cm, constituido por *floatstones* y *wackestones* de oncoides y ooides ferruginosos que contiene frecuentes fósiles reelaborados de ammonites, belemnites, braquiópodos, gasterópodos, equinodermos, foraminíferos bentónicos incrustantes, foraminíferos planctónicos, etc. La edad de este nivel condensado es posible que ya sea aptiense (Bedouliense inferior basal).

Las capas calcáreas, de espesor casi siempre fino y medio, contienen frecuentes ammonites y belemnites. A 35 m de la base aparece un tramo de 40 m de espesor muy margoso y rico en ammonites piritizados. Los últimos 15 m de la unidad muestran un aspecto peculiar, con margas menos frecuentes y calizas muy arenosas en capas gruesas y muy gruesas.

Estos sedimentos se interpretan como depósitos marinos pelágicos de aguas relativamente profundas. La parte superior representa una secuencia de somerización relacionada con la progradación de la plataforma mixta terrígeno-carbonatada que va a dar origen a las facies urgonianas superiores representadas por las unidades suprayacentes C2, C3 y C4.

El alto contenido en margas de esta unidad hace que sea fácilmente erosionable y, por ello, suele originar taludes que, con gran frecuencia se encuentran cubiertos por depósitos cuaternarios como ocurre en les Penyes de l'Albir. Así pues, es la presencia de afloramientos de esta unidad la que condiciona en gran medida la aparición, en la vertiente marina, de perfiles de tipo cantil-talud y la acumulación consiguiente sobre dichos taludes de los materiales cuaternarios, de origen coluvial y eólico (FUMANAL y YÉBENES, 1996). No obstante, los últimos 15 m de la unidad, que son algo más resistentes, constituyen ya en algunos puntos la base del gran cantil de la Serra Gelada.

### *Areniscas calcáreas y calcarenitas (C2)*

Conjunto rocoso constituido por calcarenitas y areniscas calcáreas de colores pardorrojizos con intercalaciones limosas, cuya edad puede atribuirse al Aptiense superior (Clansayesiense superior). Su espesor se acerca a los 220 m en el borde NE, mientras que hacia el SW parece reducirse ligeramente. Las calcarenitas, que son la litología dominante, se presentan en capas gruesas y muy gruesas de aspecto masivo. Muestran estructuras tractivas, de tipo estratificación cruzada de gran escala, y están constituidas por *grainstones* bioclásticos, oolíticos e intraclásticos. Entre los bioclastos destacan los foraminíferos bentónicos, tales como orbitolínidos y lituólidos, algas rojas, algas verdes, fragmentos de corales y equinodermos. En los tramos arenosos y limosos se pueden observar frecuentes *ripples*, *herringbones* y estructuras sigmoidales. Los últimos 25 m de la unidad corresponden a *grainstones* oolíticos.

Son depósitos característicos de una plataforma marina de tipo mixto carbonatado-terrágena, somera de alta energía, con influencia mareal, y abierta hacia el este. Sobre esta plataforma se desarrollarían importantes sistemas de barras submareales con una orientación dominante N-S a NE-SW. Los episodios limosos corresponden a facies de llanura mareal. La parte superior, oolítica, representa una disminución de la entrada de terrígenos y la transformación de la plataforma mixta en una plataforma de tipo carbonatado.

En esta unidad, bastante resistente, se desarrolla la mayor parte del importante acantilado de la Serra Gelada, tanto en los tramos de costa con perfil de tipo cantil-talud como en los de acantilados de tipo *plunging*. Conviene señalar que su carácter litológico favorece también el desarrollo de procesos de arenización como queda demostrado por la presencia de tafoni relativamente frecuentes en las zonas más expuestas. Es muy posible que una parte importante de los componentes detríticos, granos de cuarzo y litoclastos, que constituyen los depósitos dunares cuaternarios de les Penyes de l'Albir se hayan generado en procesos de arenización desarrollados sobre esta unidad.

### *Margas y calizas recifales (C3)*

Unidad poco potente, de entre 4 y 8 m de espesor, de edad aptiense superior (Clansayesiense superior) constituida por margas que lateralmente pasan a calizas recifales. Los madreporarios, que son los principales organismos bioconstructores de estos arrecifes, poseen morfologías ramosas y planares y muestran frecuentes incrustaciones y perforaciones de otros organismos. Además de los corales son muy frecuentes los braquiópodos (rinconélidos y terebratúlidos). Por su peculiar litología, es un buen nivel de correlación estratigráfica.

Se interpretan como bioconstrucciones recifales de tipo *patch-reef* originadas en ambientes de plataforma marina poco profunda con aguas cálidas. A pesar de su poco espesor, la unidad se detecta fácilmente, ya que suele originar un pequeño entrante bajo las calizas de la unidad siguiente.

### *Calizas con rudistas y ostreidos (C4)*

Calizas duras grises, de aspecto masivo y espesor variable entre 35 y 65 m, que afloran fundamentalmente en las partes más altas de la Serra Gelada. Se atribuyen también al Aptiense superior (Clansayesiense superior). En esta unidad se pueden diferenciar dos tramos:

a) calizas grises masivas, de unos 25 m de espesor bastante constante, constituidas por *mudstones*, *wackestones* y *floatstones* bioclásticos con rudistas, corales con morfología

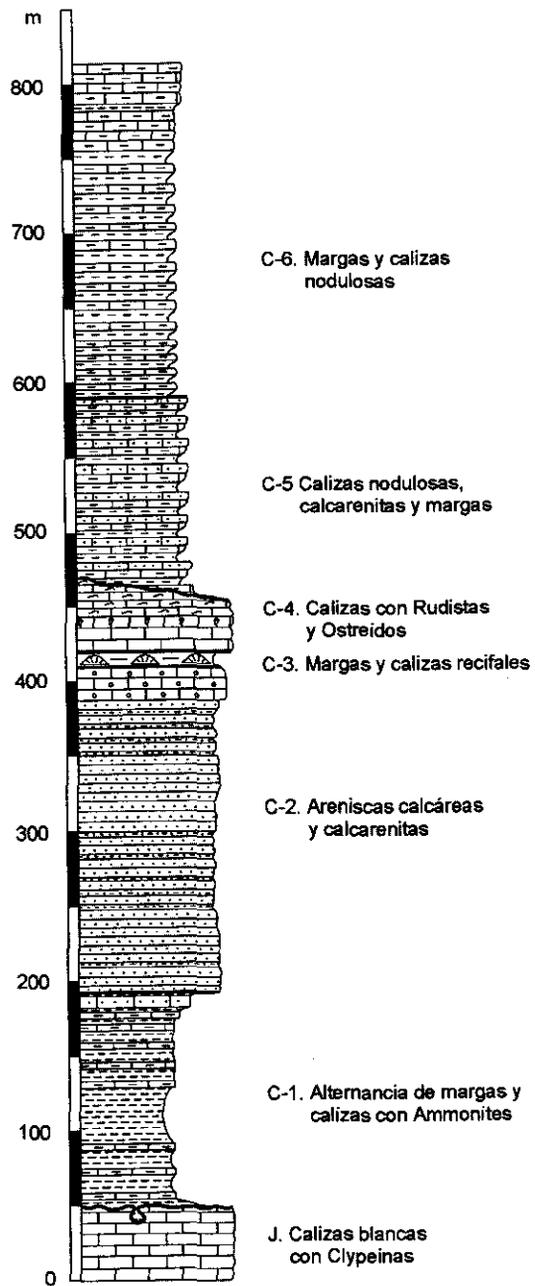


Fig. 3. Sección estratigráfica del Mesozoico de la Serra Gelada.

de bastoncillos, gasterópodos y grandes ostreidos.

*b)* calizas blanquecinas, de espesor muy variable (10-40 m), en capas medias y gruesas en las que dominan los *grainstones* bioclásticos y oolíticos.

El tramo inferior corresponde a sedimentos depositados en una plataforma marina carbonatada de poca profundidad y escasa energía, probablemente una albufera, cerrada por un sistema de barras calcareníticas cuya migración hacia la costa daría origen al segundo tramo.

Por su carácter resistente, sobre todo en su tramo inferior, constituye un buen nivel guía morfológico, ya que suele formar un resalte topográfico que se traduce en un cantil menor, que se desarrolla con frecuencia cerca de las cumbres (Alt del Governador, faro de l'Albir,...).

#### *Calizas nodulosas, calcarenitas y margas (C5)*

Unidad bastante heterogénea desde un punto de vista litológico, atribuida al Albiense inferior, de espesor comprendido entre 100 y 130 m, que aflora fundamentalmente en la vertiente occidental de la Serra Gelada así como en sus márgenes litorales septentrional y meridional. Esta unidad se apoya en disconformidad sobre C4 y ello explica las variaciones de espesor observadas en ambas unidades. Está constituida por diferentes litologías organizadas en secuencias de varios metros de espesor en las que es posible diferenciar: *a)* tramo margoso basal con equínidos; *b)* tramo de margas y calizas margosas nodulosas muy bioturbadas; *c)* tramo de alternancias de margas y calizas de tipo *wackestone*, que hacia la parte superior se hace más pobre en margas y más rico en calizas de tipo *packstone*; *d)* calcarenitas de tipo *grainstone* bioclástico, con frecuentes fragmentos de equínidos, bivalvos, orbitolínidos, gasterópodos, serpúlidos, etc., bien estratificadas en capas de color beige que muestran estratificación cruzada de gran escala generada por la migración de *sand-waves*.

El ambiente de sedimentación de estos materiales corresponde a una plataforma marina carbonatada externa. Los ciclos reflejan variaciones en la profundidad de las aguas. En los momentos en que esta era mayor, se desarrollarían las facies margosas, mientras que al disminuir la profundidad se formarían barras submarinas calcareníticas que se desplazarían en dirección al E y al NE.

Su respuesta morfológica es variable; así, mientras los tramos más margosos originan rellanos, los más calcáreos dan lugar a pequeños escalones. En la costa norte de la Serra Gelada, enfrentada a la bahía de Altea, la dirección de las capas de esta unidad se orientan perpendicularmente a la línea de costa, lo que explica la morfología litoral con pequeños entrantes, correspondientes a los tramos margosos, y salientes, en los más calcáreos.

#### *Margas y calizas nodulosas (C6)*

La unidad está constituida por una alternancia de calizas más o menos nodulosas, en ocasiones microbioclásticas, y margas calcáreas. Todos estos materiales muestran un contenido apreciable en partículas terrígenas que se hacen más escasas en la parte superior de la unidad cuyos tramos finales muestran litologías más calcáreas. Su edad abarca el Albiense medio y superior. Afloran fundamentalmente en el Racó de l'Albir y su espesor se acerca a los 250 m. Contienen fósiles frecuentes y variados: bivalvos, equínidos, orbitolínidos, braquiópodos, gasterópodos, belemnites y ammonites. Toda la unidad se encuentra muy bioturbada y son frecuentes las trazas fósiles, sobre todo en la parte superior.

Las características litológicas y paleontológicas permiten atribuir estos materiales a depósitos de plataforma marina externa, carbonatada, relativamente profunda y bien comunicada con el mar abierto.

Su respuesta morfológica es similar al de la unidad anterior: los tramos margosos dan lugar a entrantes mientras que los más calcáreos originan salientes.

## 2. 2. Unidades cuaternarias

### *Los depósitos coluviales y eólicos de les Penyes de l'Albir*

En el talud desarrollado en les Penyes de l'Albir se acumulan importantes depósitos eólicos y coluviales descritos detalladamente en Fumanal y Yébenes (1996). Estos autores definen un conjunto de unidades que son , de más antigua a más reciente:

- a) *Megabrecha* coluvial del Pleistoceno inferior
- b) *Conglomerado brechoide moderadamente cementado* de origen coluvial del Pleistoceno medio.
- c) *Areniscas grises* eólicas del Pleistoceno superior.
- d) *Areniscas calcáreas blancas* eólicas del Pleistoceno superior.
- e) *Areniscas ocre* eólicas del Pleistoceno superior.
- f) *Arenas sueltas ocre claro* eólicas del Pleistoceno superior.
- g) *Dunas activas* holocenas.
- h) *Conglomerado de cantos redondeados* de origen marino del Holoceno.

### *Las terrazas marinas*

Además de la terraza marina holocena de les Penyes de l'Albir, en la Serra Gelada se han citado tres afloramientos marinos pleistocenos. El primero de ellos, el de la Punta de les Caletes, fue localizado por Novo (1914) y citado posteriormente por Hernández-Pacheco (1930, 1931, 1932 y 1933), Günther (1941), Solé *et al.* (1957), Navarro (1959), Ríos *et al.* (1961) Gaibar (1974) y Dumas (1977), que lo atribuyen al Tirreniense. Solé *et al.* (*op. cit.*) sitúan esta terraza marina a una altura de 5-6 m s.n.m. y destacan su contenido en fragmentos de conchas marinas, aunque sin citar fósiles específicos. A pesar de una intensa búsqueda, no se ha podido localizar este afloramiento, aunque existe la posibilidad de que haya sido cubierto por un pequeño depósito de derrubios de origen antrópico, acumulados en el fondo de la pequeña cala en que se citó la terraza. Por ello, no ha sido posible contrastar ni su presencia ni su carácter marino, dado que, en base a la experiencia obtenida en les Penyes de l'Albir (FUMANAL y YÉBENES, 1996), los depósitos eólicos también pueden contener fragmentos de conchas marinas.

El segundo afloramiento fue descrito por Navarro *et al.* (1959), en un artículo específico, confirmado posteriormente por Ríos *et al.* (1961) en su *Memoria* correspondiente a la hoja del mapa geológico 1:50.000 de Altea. La supuesta terraza marina tirreniense, de escasa extensión y situada a +170 m, estaría constituida por "arenisca caliza, ... tosca, con la siguiente fauna: *Trochus fragoroides*, *Purpura (Stramonita) haemastoma* y *Ostrea edulis*". A pesar de que se ha llevado a cabo una detallada búsqueda y de que los autores citados proporcionan un esquema de situación del afloramiento, no se ha podido localizar este depósito. Gaibar (1974), que estudia con cierto detalle el Cuaternario de la Serra Gelada, no cita el trabajo original ni menciona el afloramiento, aunque comenta que a lo largo de la línea de cumbres se encuentran con frecuencia conchas de gasterópodos y bivalvos comestibles, entre ellos los citados en la terraza por Navarro *et al.* (1959), que eran con-

sumidos por los moradores de antiguos torreones cuyas ruinas aún se conservan. En cualquier caso, nos inclinamos a pensar que la atribución al Tirreniense marino de este posible, escurridizo y conflictivo depósito no está justificada.

El tercer afloramiento fue señalado por Dumas (1977) quien destaca la presencia de afloramientos subacuáticos de areniscas, junto a la orilla de la playa del Racó de l'Oix, en el margen occidental de la Serra Gelada. Considera que estos depósitos corresponden a una playa tirreniense bien consolidada, que está encajada en el glacis rissiensense de Benidorm, si bien no aporta datos paleontológicos que verifiquen su datación.

*Los depósitos de glacis de la vertiente noroccidental*

En la vertiente noroccidental de la Serra Gelada los materiales cretácicos se sumergen bajo depósitos de glacis y abanicos aluviales que descienden desde alturas de hasta 150 m y rellenan la depresión Benidorm-l'Albir (fig. 1). Sus buzamientos alcanzan valores próximos a los 15°. Rey *et al.* (1993) han definido, en este sector, cuatro niveles diferentes de glacis que se describen a continuación de mayor a menor antigüedad.

**Glacis 4.** Se apoya directamente sobre las unidades cretácicas de "Calizas nodulosas, calcarenitas y margas" y "Margas y calizas nodulosas". El perfil tipo más completo aflora en el rincón de l'Albir, donde el depósito del glacis aparece coronando una superficie tallada sobre la unidad cretácica de "Margas y calizas nodulosas". Es posible diferenciar varios tramos (fig. 4):

a) 0,80 m. Costra calcárea de aspecto masivo en la que Brückner y Radtke (1986) obtuvieron una datación ESR de 1.580 ka  $\pm$  30%, es decir, Pleistoceno inferior. La costra, en la que dominan las facies de tipo pulverulento, tapiza una superficie ligeramente inclinada hacia el norte.

b) 3 m. Arena fina limosa de color ocre con frecuentes intercalaciones de conglomerados de cantos subangulosos y areniscas. Este tramo se apoya sobre una superficie erosiva irregular por lo que puede aparecer tanto sobre la costra calcárea como apoyado directamente sobre el sustrato cretácico. En su interior se observan cuerpos arenosos canaliformes de poca extensión con estructuras tractivas, pequeños cuerpos conglomeráticos canaliformes o plano-convexos y superficies tapizadas por hileras de cantos.

c) 2 m. Limos rojizos con escasos cuerpos canaliformes de conglomerados e hileras de cantos.

d) 0,50 m. Conglomerado brechoide heterométrico de matriz limoarenosa que se apoya erosivamente sobre el tramo anterior. Localmente puede alcanzar hasta 4 o 5 m de espesor al entallarse en los tramos subyacentes.

e) 2,20 m. Costra calcárea compleja con un nivel intermedio de conglomerado brechoide heterométrico con fragmentos angulosos muy cementados. Brückner y Radtke (*op. cit.*) obtuvieron una datación Th/U de 205  $\pm$  30 ka. Muestra facies muy diversas, tales como perlíticas, travertínicas laminares, rizobrechas, zonadas, etc.

Así pues, el glacis 4 de l'Albir se apoya erosivamente sobre una costra, probablemente del Pleistoceno inferior, que reposa sobre una superficie tallada en los materiales cretácicos. Los conglomerados brechoides desorganizados, de matriz limosa, se interpretan como depósitos de *debris-flow* más o menos canalizados. Los cuerpos conglomeráticos canalizados corresponden a sedimentos de pequeños canales fluviales que surcarían la superficie del abanico, mientras que los convexos se atribuyen a depósitos de *sheet-flood*. Los limos rojizos, que proceden de suelos de tipo *terra rossa* desarrollados en el área madre, se interpretan como depósitos de *sheet-wash*, mientras que los niveles de hileras

de cantos representarían episodios de *flash-flood*. Esta asociación de facies es característica de las zonas proximales a medias de abanicos aluviales. En este caso se trataría de pequeños abanicos aluviales que descenderían de la Serra Gelada en dirección al N y al NW. Puesto que la formación de la costra calcárea que corona el depósito es posterior a la sedimentación del glacis y, aquella ha proporcionado una datación de unos 200 ka, se puede considerar que los depósitos del glacis pertenecen al Pleistoceno medio, probablemente al estadio isotópico 8.

**Glacis 3.** Suele aparecer apoyado también sobre el sustrato cretácico. El afloramiento más completo se puede observar en el barranco situado al norte de la gran cantera. Se trata de un depósito que alcanza hasta 8 m de espesor, constituido por brechas rojizas heterométricas, desordenadas, de matriz limosa, con fragmentos que, en la parte más cercana al ápice, alcanzan un tamaño próximo a 1 m. Muestra algunas intercalaciones lenti-

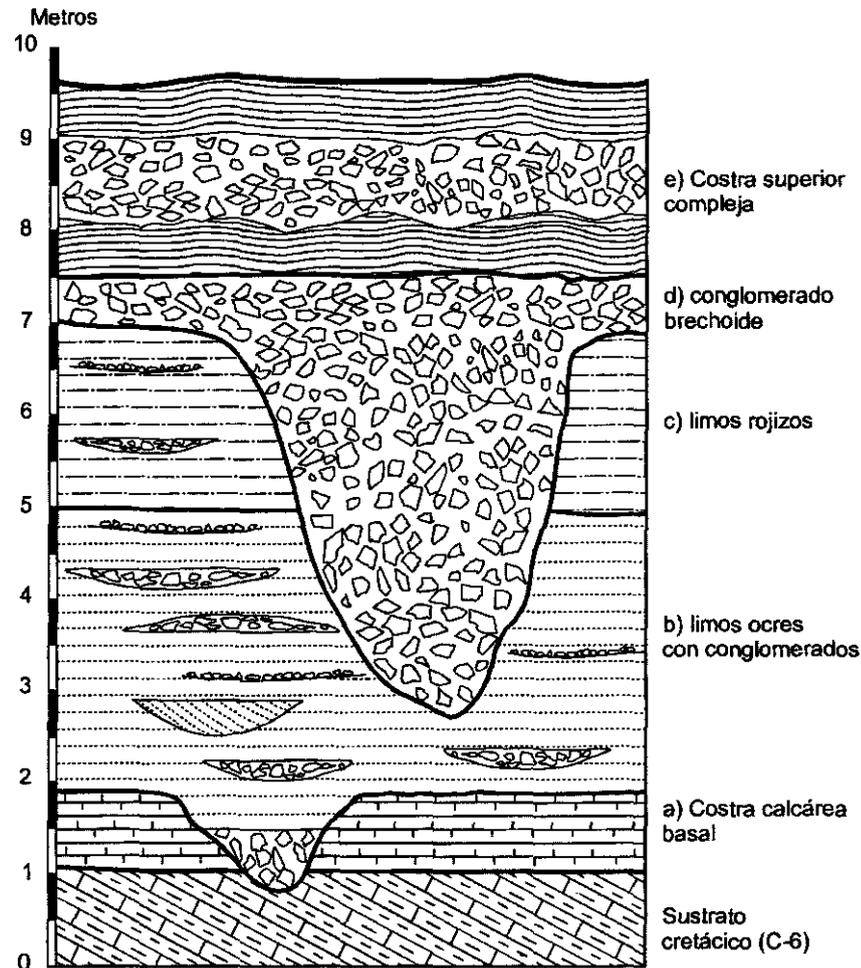


Fig. 4. Perfil del Glacis 4 en el Racó de l'Albir.

culares de brechas autoportadas sin cementar y carentes de matriz. El predominio de las facies brechoides, interpretadas como depósitos de *debris-flows* no canalizados, acompañadas por las intercalaciones de brechas caladas, que podrían corresponder a depósitos de tamiz (*sieve deposits*), permiten situar este afloramiento en una zona muy proximal del abanico aluvial.

**Glacis 2.** Se desarrollan generalmente sobre las depósitos de los glacis anteriores y están constituidos por materiales limosos pardo rojizos con cantos dispersos en los que se intercalan algunos niveles de gravas. Constituyen una gran parte del relleno de la depresión Benidorm-l'Albir. En ocasiones también se presentan como terrazas adosadas a los costados de incisiones talladas en los glacis más antiguos.

**Glacis 1.** Aparece en afloramientos de poca extensión situados en las proximidades de l'Albir y del Racó de l'Oix. En el primero de ellos pasa lateralmente a depósitos arcillo-limosos oscuros, ricos en materia orgánica, que podrían corresponder a sedimentos de una antigua y pequeña marjal hoy desaparecida.

No se dispone de datos fiables acerca de la edad de los glacis G-3, G-2 y G-1. No obstante, G-3 y G-2 pueden ser atribuidos al Pleistoceno superior, mientras que G-1 se puede considerar como Holoceno.

Finalmente, cabe señalar la presencia de pequeños afloramientos de brechas que aparecen justo al borde del cantil principal de la Serra, a alturas comprendidas entre 125 y 250 m, por ejemplo en las proximidades del Faro de l'Albir, sobre el Portet del Tamarit, etc. Se trata de depósitos brechoides, en general poco potentes, constituidos por fragmentos muy angulosos. Se interpretan como depósitos gravitacionales de ladera y su situación, al borde del acantilado, inclina a pensar que proceden de zonas más elevadas hoy desaparecidas.

### 3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La Serra Gelada está situada en el área nororiental del dominio interno de la Zona Prebética (VERA, 1983), también denominado Prebético de Alicante. Corresponde, por tanto, al sector autóctono (o subautóctono) de las Zonas Externas de la Cordillera Bética. Aparece justamente al sur de la "banda con anomalías estructurales de Busot-Altea" (GRANIER, 1987), caracterizada por una intensa actividad diapírica.

La estructuración de la Cordillera Bética es el resultado de una historia de deformación, continua y muy compleja, relacionada con la aproximación y posterior colisión de las placas africana e ibérica/europea, que se inició muy probablemente durante el Cretácico superior y prosigue hasta la actualidad. La situación se vio además complicada con la expulsión hacia el oeste, durante el Mioceno inferior, del dominio de Alborán y su posterior emplazamiento sobre los márgenes ibérico y norteafricano, a los que deformó, dando lugar al Arco de Gibraltar. Por ello, no es fácil señalar una única fase de estructuración general de la Cordillera. No obstante, en el Prebético oriental, los episodios fundamentales de deformación, responsables de la estructuración del sector, se suelen situar en el intervalo comprendido entre el Aquitaniense y el Tortoniense inferior (DE RUIG, 1990).

#### 3. 1. La estructura tectónica de la Serra Gelada

Desde un punto de vista estructural, la Serra Gelada puede definirse como un bloque homoclinal de dirección general N50-60°E y buzamiento que varía alrededor de 20-

30° hacia el NNW. La orientación general de esta estructura homoclinal coincide, por tanto, con las directrices estructurales béticas. Los cuatro márgenes que delimitan este conjunto rocoso corresponden a estructuras falladas.

La fachada marina que limita la Serra Gelada por el SE, corresponde a una falla múltiple compleja, normal y contraria, que discurre paralelamente al litoral y es responsable de su carácter acantilado. Este accidente debe corresponder a una estructura transtensiva relacionada con la "falla de la costa" (RODRÍGUEZ ESTRELLA, 1977) o con el "accidente del Guadalentín-Serra Gelada" (LÓPEZ CASADO *et al.*, 1987). El estudio de perfiles sísmicos de la plataforma continental (REY *et al.*, 1993) demuestra que frente a la Serra Gelada, junto a la costa, aparece una banda compleja multifracturada que afecta incluso a materiales cuaternarios.

En relación con el límite NW del bloque, diversos autores (RÍOS *et al.*, 1961; MOSELEY *et al.*, 1981; etc.) consideran que corresponde al sinclinal de Benidorm, del que, según ellos, la Serra Gelada sería su flanco oriental. Sin embargo, esta interpretación se antoja discutible. En efecto, resulta sorprendente que, entre nuestra unidad C6 "Margas y calizas nodulosas" y las calizas y margas del Senoniense, que afloran justo al NW de la carretera general Valencia-Alicante, no existan afloramientos de la formación "Calizas de Jaén" del Cenomaniense. Esta unidad, constituida por materiales muy resistentes, origina relieves importantes en toda la región, como los de l'Alt de la Cortina, situado unos 5 km al NW de la Serra Gelada. La ausencia de afloramientos de "Calizas de Jaén" en todo el margen noroccidental de la Serra podría ser explicada por una importante falla que discurriría por la depresión Benidorm-Altea y sería responsable de su hundimiento. Como, por otra parte, la zona axial del teórico sinclinal de Benidorm nunca ha podido ser observada sobre el terreno, es muy probable que el límite NW del bloque de la Serra Gelada corresponda realmente a una estructura fallada.

La brusca terminación septentrional de la Serra sugiere un límite fallado de dirección S60°E, responsable del hundimiento de la bahía de Altea. También el límite meridional, que da paso a la ensenada de Benidorm, parece corresponder a un accidente tectónico. En relación con este límite conviene indicar que, como ya sugirió Cabanilles hace justamente dos siglos (CABANILLES, 1797), l'Illa de Benidorm se encuentra alineada con la Serra Gelada y comparte con esta tanto sus características litológicas como las estructurales. Todo parece indicar que en algún momento existió continuidad estructural entre ambas y que esta continuidad fue rota por la actividad de fallas de dirección NW-SE que provocaron el hundimiento del bloque intermedio.

Aunque a grandes rasgos la Serra Gelada no parece mostrar una estructuración interna destacada, a menor escala se detectan ciertas características estructurales de interés. Los afloramientos jurásicos de la unidad "Calizas con clipeínas", visibles en el Morro de Sant Jordi, demuestran que existe un muy ligero alabeamiento, perpendicular a la dirección de la estructura homoclinal, que puede ser consecuencia de la actividad diapírica. Por otra parte, el macizo se encuentra afectado por una red de fracturación relativamente importante que se manifiesta en fallas, casi siempre normales, algunas de las cuales presentan saltos próximos a 200 m (fig. 2).

Un primer grupo de fallas muestran orientaciones que varían alrededor de N40°E, es decir, más o menos paralelas al acantilado y relacionadas de un modo u otro con la falla de la costa. Destacan especialmente dos fallas normales: 1) la falla contraria dels Illots, con un salto de unos 60 m y un buzamiento bastante bajo que origina un desplazamiento horizontal en tijera debido al levantamiento rotacional del labio levantado, rela-

cionado probablemente con la actividad diapírica, y 2) la falla conforme de la cantera del Racó de la Pataca. Otra fractura importante, aunque de orientación meridiana, es la falla normal de la Cala de les Mines, con un salto que supera los 150 m y que muestra ciertas características de flor negativa (HARDING, 1985), que indicarían un origen transtensivo. Subordinadamente, aparece otro conjunto de fallas normales con directrices casi perpendiculares a las anteriores. Entre ellas cabe señalar, además de las que limitan la Serra Gelada por el SW y el NE, la falla oblicua de las Caletes del Tio Ximo, con estrías de falla que buzan 60° hacia el NW, la de la Punta de les Caletes, con un salto de más de 150 m, y la del Banc de Ribes, de 80 m de salto.

### 3. 2. Pruebas de la actividad neotectónica y de la tectónica activa

La existencia en este sector de movimientos tectónicos cuaternarios, e incluso activos en la actualidad, parece innegable, pues sus manifestaciones son relativamente frecuentes. Otra cuestión más discutible sería su valoración cuantitativa, sobre todo en lo que se refiere a la génesis del relieve de la Serra Gelada. La actividad tectónica reciente de la región se pone de manifiesto a través de diferentes tipos de pruebas que se describen a continuación.

#### *Testimonios en sedimentos cuaternarios continentales*

En todo el sector correspondiente al diapiro de Altea aparecen, con cierta frecuencia, depósitos conservados fundamentalmente en las cumbres de pequeñas lomas, que corresponden a los restos de un extenso glacis del Pleistoceno medio coronado por una costra calcárea, que en la actualidad se encuentra muy desmantelado por efecto de las fases erosivas y de encajamiento del Pleistoceno superior y Holoceno. En muchos puntos, es posible observar que los materiales de este glacis están afectados por deformaciones tectónicas (BURILLO *et al.*, 1991) relacionadas con la movilidad diapírica de los materiales del Keuper. Brückner y Radtke (1985, 1986) obtuvieron en el Racó de l'Albir una datación para este glacis de unos 200.000 años, por lo que se puede afirmar que ha existido actividad diapírica posterior al Pleistoceno medio.

En varios puntos de la Serra Gelada, situados a alturas superiores a 150 m y justo al borde del acantilado marino, aparecen afloramientos de poca extensión constituidos por depósitos cuaternarios brechoides cuya procedencia parece exigir una prolongación del acantilado actual hacia el mar.

En los depósitos eólicos, que afloran ampliamente en les Penyes de l'Albir, no se han encontrado pruebas claras de estructuración tectónica. Algunas fracturas presentes en estos depósitos, más o menos consolidados, pueden explicarse en base a su posición, gravitacionalmente inestable, en el talud de la Serra. Tan sólo se han podido observar algunas posibles fracturas en las proximidades del vertedero de residuos de Benidorm. Conviene tener en cuenta, sin embargo, que muchos de los afloramientos de dunas pleistocenas se encuentran recubiertos por sistemas dunares más recientes, y menos consolidados, en los que la preservación de pequeñas fracturas resulta altamente improbable.

#### *Pruebas en afloramientos de Cuaternario marino*

La posible terraza marina tirreniense de la Punta de les Caletes fue utilizada por Gaibar (1974) como argumento de que la Serra Gelada ha experimentado, durante tiempos post-tirrenienses, un basculamiento general moderado hacia el NE, responsable del

levantamiento de la terraza y del hundimiento del frontón septentrional de la Serra. Sin embargo, la imposibilidad de verificar el carácter marino de este depósito, no localizado, impide asegurar la existencia de tal basculamiento.

El afloramiento tirreniense descrito por Navarro *et al.* (1959) en el labio levantado de la falla de la Punta de les Caletes, a +170 m y cuyo buzamiento coincide con el de los materiales cretácicos, tampoco ha podido ser localizado. Su existencia indicaría una actividad neotectónica post-tirreniense con un desplazamiento de la falla de les Caletes, de casi 200 m, realmente inusitado. Tal como se ha mencionado anteriormente, la atribución al Tirreniense de este supuesto afloramiento debe ser consecuencia de una confusión. Por otra parte, la falla que hunde el bloque correspondiente a la Punta de les Caletes, se encuentra fosilizada por un depósito del glacis G-4, atribuido al Pleistoceno medio, lo que garantiza que, al menos, dicha falla no ha experimentado el menor movimiento desde entonces.

*Estructuras tectónicas detectadas mediante registros sísmicos en la plataforma continental*

Los perfiles sísmicos realizados en la plataforma continental entre Oliva y la Vila Joiosa (FUMANAL *et al.*, 1993; REY *et al.*, 1993 y REY y FUMANAL, 1996) muestran claras pruebas de actividad neotectónica. En el sector correspondiente a la bahía de Altea (REY *et al.*, 1993) se observa que la sedimentación cuaternaria está condicionada por una tectónica distensiva que origina dos direcciones principales de fractura: la primera, de dirección NE-SW, sigue aproximadamente las orientaciones béticas; la segunda, de dirección NNW-SSE, es paralela al óvalo de Valencia (DÍAZ DEL RÍO *et al.*, 1986). Por otra parte, las deformaciones halocinéticas, relacionadas con la gran estructura diapírica de Altea, pro-

NOMBRE	SITUACIÓN	AÑO	PROF.	INTENS.	MAGN.
1. Mediterráneo	898.1 433.8	1946		5	4.2
2. la Vila Joiosa	903.6 441.4	1954		5	3.9
3. Benidorm	909.3 443.5	1968			2
4. N. Benidorm	904.6 452.4	1980	5 Km		2.8
5. S de la Nau	905.5 430.0	1987	8 Km		3.0
6. E de Alicante	921.5 431.4	1988	14 Km		3.1
7. Calp	920.4 456.0	1988	5 Km		2.9
8. El Campello	893.5 439.6	1993			2.7
9. la Vila Joiosa	905.3 435.0	1994	12 Km	3	3.0
10. la Vila Joiosa	902.3 436.9	1994	1 Km	2	3.1
a. Altea	38° 37' -0° 03'	1861		V	5.0
b. Olla d'Altea	38° ,6 +0° 01'	1922		VI	5.4
c. la Vila Joiosa	38° ,5 -0° 06'	1949		II	3.8

Tabla I. Terremotos registrados entre Calp y el Campello. Se indica para cada terremoto: su nombre, situación en coordenadas Lambert o geográficas, año, profundidad del foco, intensidad y magnitud. Los datos de los tres últimos terremotos se han tomado de Gaibar (1974).

ducen otros accidentes normales con predominio de las direcciones E-W e inducen la formación de algunas fallas inversas. Como consecuencia de la interferencia entre estos sistemas de fractura, la bahía de Altea muestra una complejidad tectónica peculiar. Las fracturas afectan fundamentalmente a las unidades del Pleistoceno inferior y medio, pero algunas de ellas afectan también a los depósitos del Pleistoceno superior e incluso del Holoceno. Además, en algunos puntos de la plataforma próximos a la Serra Gelada, aparecen pequeños escarpes submarinos que corresponden a fallas normales de movimiento muy reciente.

Los registros sísmicos de la bahía de Benidorm muestran claramente el control tectónico de la sedimentación cuaternaria. En efecto, el hundimiento y basculación diferenciales de los bloques, definidos por los dos sistemas de fracturación principales mencionados anteriormente, origina un sistema de umbrales y cubetas subsidentes que controla la distribución de espesores de las unidades cuaternarias. Durante los máximos del Pleistoceno superior, la línea costera frente a la Serra Gelada, según Rey y Fumanal (1996), podría estar a 20 km. El fuerte hundimiento de la plataforma ha repercutido en su configuración, aunque lo más claro es la migración de la costa hacia el continente durante la transgresión holocena y el arrasamiento litoral de formas anteriores.

#### *Pruebas geomorfológicas*

El análisis de la red fluvial de la Serra Gelada permitió a Rosselló *et al.* (1995) determinar la presencia de una pequeña cuenca, la cuenca B situada al norte de la Punta de les Caletes, con una red de drenaje que muestra una vergencia anómala hacia el SE. Todo

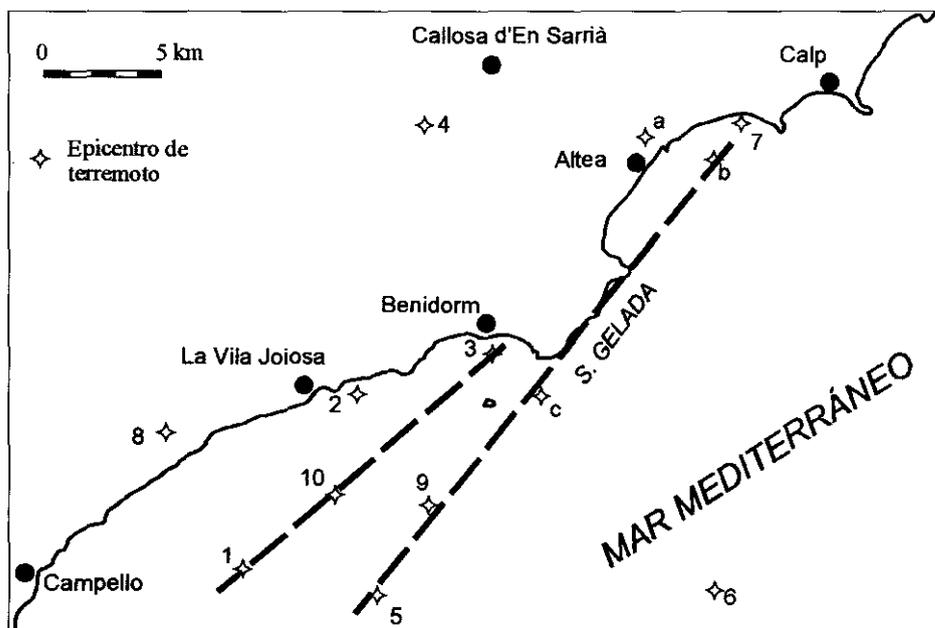


Fig. 5. Repartición de los epicentros de terremotos registrados en las proximidades del área de estudio, de acuerdo con los datos de la tabla adjunta. Se pone claramente de manifiesto la existencia de dos lineaciones relacionadas con la estructura de la Serra Gelada.

parece indicar que se trata del resto de una cuenca mayor que fue cortada por el retroceso, probablemente tectónico, de la costa.

La vertiente continental de la Serra muestra una red fluvial orientada en dirección al NW. A partir de la falla dels Illots y hacia el sur, las cuencas de recepción de los barrancos aparecen seccionadas por el cantil actual, lo que puede considerarse como demostración de un retroceso tectónico del acantilado.

Sin embargo, al norte de la falla dels Illots, los barrancos muestran cuencas de drenaje intactas, cuya morfología lobulada llamó ya la atención de Nicklés (1892): "Los barrancos que surcan la vertiente noroeste de esta pequeña cadena comienzan cada uno, de una manera muy regular, por un verdadero circo de paredes muy abruptas. Cuando se contempla de lejos, sobre todo a la puesta de sol, los pequeños circos adquieren el aspecto de cráteres rotos". Por otra parte, en este sector, la red fluvial muestra una vergencia ligeramente anómala, algo más norteada y que no sigue las direcciones de máxima pendiente. Esta disposición podría interpretarse como la consecuencia de un ligero movimiento de giro dextral del bloque septentrional de la Serra, que debió producirse tras la instalación de la red de drenaje y cuando los barrancos se encontraban ya bastante encajados. Este giro podría ser debido al movimiento de la falla normal de bajo ángulo dels Illots, cuya actividad estaría relacionada con el levantamiento diapírico de aquel bloque.

#### *La sismicidad*

Gaibar (1974) realizó un estudio detallado de la actividad sísmica registrada en la región, con anterioridad al año 1970, que confirma la existencia de tectónica activa. Sin embargo, en el catálogo elaborado por la División de Geología del Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de Alicante, no se han incluido la mayor parte de los registros utilizados por Gaibar, ya que la localización de los epicentros no ofrece la fiabilidad suficiente.

En la tabla adjunta se ofrecen las características de los 10 terremotos, con epicentros próximos a la Serra Gelada, incluidos en dicho catálogo. Además, se incluyen algunos de los terremotos cuyos datos ofrece Gaibar, a pesar de que su localización puede no ser muy precisa. En la figura 5 se han representado los epicentros de los terremotos.

Los terremotos 4, a y 7 parecen estar claramente relacionados con el diapiro de Altea, lo que demuestra que esta estructura mantiene hoy su actividad.

Los terremotos 5, 9, c y b, cuyos epicentros están situados en la plataforma, podrían estar relacionados con la falla responsable del acantilado de la Serra Gelada, es decir, con la falla de la costa, cuya actividad actual quedaría probada. La profundidad de algunos de los focos, como el del terremoto 9 que alcanza los 12 km, implica que dicha falla es profunda y afecta al zócalo prealpino. También los terremotos 1, 10 y 3 dibujan una alineación que podría corresponder a la prolongación de la falla que constituye el límite occidental del bloque de la Serra.

Como conclusión de todas las pruebas presentadas, queda claramente demostrada la existencia de procesos neotectónicos e incluso de tectónica activa. Por tanto, desde un punto de vista cualitativo, la repercusión de estos procesos, tanto en las características geomórficas como en la sedimentación cuaternaria de la Serra, resulta evidente. Sin embargo, y aunque la valoración cuantitativa de estos movimientos no ha podido ser determinada, nos inclinamos a pensar que su influencia en el entorno geomórfico de la Serra Gelada y en sus depósitos cuaternarios es, en cualquier caso, subordinada. Las grandes líneas que

definen la morfología de la Serra y condicionan la sedimentación pleistocena parecen claramente precuaternarias, por lo que la neotectónica cuaternaria tanto sólo ha podido influir a través de retoques, casi siempre a pequeña escala.

#### 4. EL ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LA SERRA GELADA

La reconstrucción de la historia estructural de la Serra Gelada no resulta sencilla por la confluencia de tres procesos tectónicos diferentes aunque no independientes:

a) *La compresión bética general*, responsable directa o indirecta de la estructuración general monoclinal del conjunto de la Serra y de su probable prolongación hasta, al menos, l'Illa de Benidorm. En el Prebético oriental, las fases tectónicas compresivas, responsables de su estructuración, se desarrollaron a lo largo del Mioceno, entre el Aquitaniense y el Tortoniense inferior.

b) *La posible actividad de desgarres*, como la "falla de la costa", que actuando en condiciones transtensivas originó un conjunto, probablemente anastomosado, de fallas normales que condicionaron la morfología del frente acantilado.

c) *La actividad diapírica*. La inmediata proximidad del gran diapiro de Altea ha podido influir en la estructuración de la Serra Gelada debido a las posibles deformaciones inducidas por el ascenso de las evaporitas del Keuper. La actividad diapírica reciente puede ser responsable del ligero alabeamiento que muestra el conjunto de la Serra, de la aparición de algunas fallas inversas menores, de la actividad de algunas fallas normales de bajo ángulo y del desarrollo regional de fallas radiales. Todo parece indicar que en el Cretácico superior ya existía actividad diapírica en el sector de Altea. Esta actividad continuaría manifestándose, con mayor o menor intensidad, a lo largo del Terciario hasta la actualidad. Sin embargo, no parece que la arquitectura fundamental de la Serra Gelada esté relacionada con los procesos diapíricos.

Parece claro que el origen de esta estructura homoclinal hay que buscarlo en la compresión que provocó el plegamiento general del Prebético. La orientación del macizo de la Serra Gelada inclina a pensar que su estructuración se realizó probablemente en la última fase compresiva del plegamiento nealpino que, de acuerdo con De Ruig (1992) se desarrolló entre el Serravalliense y el Tortoniense inferior. La primitiva estructura homoclinal se prolongaría hacia el SW más allá de l'Illa de Benidorm. La extensión y articulación hacia el mar de esta estructura es desconocida, si bien Ríos *et al.* (1961) consideran que correspondería a un anticlinal, hoy sumergido. En cualquier caso, la compresión bética habría generado un bloque dispuesto de acuerdo con las directrices béticas, mucho más dilatado que la actual Serra Gelada y que además se extendería, bastantes kilómetros, hacia el mar.

La morfología asimétrica de la Serra Gelada, es decir, la formación del primitivo acantilado, se debió producir como consecuencia del hundimiento del sector SE del antiguo bloque precursor. Parece ser que este hundimiento, consecuencia de esfuerzos extensivos, debió producirse muy cerca del límite Mioceno-Plioceno. El sondeo de exploración petrolífera Alicante A-1 (IGME, 1987) situado *offshore* a pocos kilómetros al SE de la Serra Gelada, perforó sedimentos pliocenos pelágicos que reposan sobre sedimentos tortonienses litorales. Esta disposición indica que la extensión responsable del hundimiento del sector SE del bloque primitivo de la Serra Gelada, debió producirse, muy probablemente, cerca del límite Mioceno-Plioceno. De Ruig (1992) señala una fase de extensión

finimiocena para el Prebético de Alicante y también Montenat *et al.* (1987) destacan que, en el tránsito Mioceno-Plioceno, se producen estructuras extensionales relacionadas con la actividad de fallas de desgarre de gran escala, como es el caso del accidente del Guadalentín, que podría corresponder a nuestra falla de la costa.

Así pues, todo parece indicar que el hundimiento del bloque SE del primitivo macizo de la Serra Gelada y la consiguiente formación del paleoacantilado precursor de las Penyes de l'Albir, se produciría muy probablemente a lo largo de la falla de la costa en algún momento próximo al límite Mioceno-Plioceno. Cabe recordar que este paleoacantilado se prolongaría hacia el SE hasta, al menos, l'Illa de Benidorm. También nos inclinamos a pensar que la red de drenaje de la Serra se instaló en estas primeras fases de evolución estructural, con lo que la Serra tendría ya en aquellos momentos una configuración geomórfica que, en líneas generales, sería bastante parecida a la actual.

No poseemos datos suficientes para situar el momento en que se produjeron las fracturas que, al hundir la bahías de Altea y Benidorm respectivamente, individualizarían la Serra Gelada por sus márgenes NE y SW. Sin embargo, cabe suponer que se produjeron poco después de la formación del paleoacantilado, probablemente durante el Plioceno.

La actividad diapírica en la Serra Gelada sería tardía y se manifestaría fundamentalmente en el ligero alabeamiento que muestra la estructura homoclinal y en las anomalías de la red de barrancos del sector septentrional.

La evolución cuaternaria de les Penyes de l'Albir plantea un problema geomórfico importante, relacionado con la reactivación neotectónica de la falla múltiple de la costa y el retroceso del acantilado original hasta su posición actual. En efecto, los datos de que disponemos parecen evidenciar un cierto retroceso, pero, no creemos que la magnitud del desplazamiento haya ido mucho más allá del centenar de metros ni que haya sido uniforme en todo el trazado del cantil.

Por una parte, la decapitación de las cuencas de recepción de los barrancos del sector meridional de las Penyes no exige retrocesos superiores a dicho valor. Tampoco serían necesarias extensiones mucho mayores para explicar los depósitos coluviales, presentes al borde del acantilado, ni la existencia de la pequeña cuenca anómala B.

Sin embargo, los registros sísmicos de la plataforma (REY *et al.*, 1993; REY y FUMANAL, 1996), demuestran claramente que, a muy poca distancia del litoral —las dificultades técnicas impiden comenzar e interpretar los perfiles a menos de 100 m de la línea de costa—, el sustrato cretácico se encuentra hundido más allá del poder de penetración del Geopulse utilizado, mientras que los saltos de las fracturas que afectan a los materiales pleistocenos no alcanzan en ningún caso valores superiores a unos pocos metros. Como consecuencia, es posible afirmar que, a partir de 100-200 m de distancia de la línea de costa, no existe la más mínima prueba de movimientos cuaternarios de fallas que puedan justificar en modo alguno los desniveles actuales de les Penyes. Por otra parte, la unidad de megabrecha coluvial, que constituye el nivel cuaternario más antiguo presente en el sector (FUMANAL y YÉBENES, 1996), aparece adosada al acantilado actual, lo que demuestra que, al menos en el sector en que aflora, el acantilado no ha retrocedido prácticamente nada desde el momento de su sedimentación, que los citados autores sitúan en el Pleistoceno inferior.

En conclusión, desde el Plioceno hasta la actualidad, el cantil de les Penyes de l'Albir tan sólo ha experimentado un retroceso tectónico, pequeño e irregular, en ningún caso superior a los 100-200 m. Además, es muy probable que, una gran parte de este retroceso, se produjera en tiempos precuaternarios.

## BIBLIOGRAFÍA

- BRÜCKNER, H. und H. RADTKE (1985) Neue Erkenntnisse zum marinen Quartär an Spaniens Mittelmeerküste. *Kieler Geogr. Schriften*, 62: 49-71.
- BRÜCKNER, H. and H. RADTKE (1986) Paleoclimatic implications derived from profiles along the Spanish Mediterranean coast". LÓPEZ-VERA, F. (ed.) *Quaternary Climate in Western Mediterranean*. Universidad Autónoma de Madrid. Cf. pp. 467-486.
- BURILLO, F.J., LÓPEZ ARCOS, M. y P. ALFARO (1991) El sector Norte de la provincia de Alicante entre Altea y Alcoy. BURILLO, F.J., DURÁN, J.J. y J.M. SORIA (eds.) *IV Encuentro de Campo sobre Geomorfología, Cuaternario y Neotectónica*. Alicante, Inst. "Juan Gil-Albert". Cf. pp. 51-66.
- CABANILLES, A.J. (1797) *Observaciones sobre la historia natural, geografía, poblacion y frutos del Reyno de Valencia por Antonio Josef Cavanilles*. Madrid, Imprenta Real. Vol. II.
- CASTRO, J.M. and P.A. RUIZ-ORTIZ (1994) Aptian carbonate platforms in NE Alicante Province (Southeast Spain). *First Meeting on Perimediterranean Carbonate Platforms; I.A.S., A.S.F., Global Sedimentary Geology Program, Abstracts*. Cf. pp. 9-11.
- CASTRO, J.M. (1994) Las facies de las plataformas de carbonatos del Aptiense-Albiense al NE de la Provincia de Alicante. Zona Prebética, SE de España. *Geogaceta*, 15: 17-19.
- DE RUIG, M.J. (1990) Fold trends and stress deviation in the Alicante fold belt, southeastern Spain. *Tectonophysics*, 184: 393-403.
- DE RUIG, M. (1992): *Tectono-Sedimentary Evolution of the Prebetic Fold Belt of Alicante (SE Spain)*. Doctoral Thesis. Amsterdam, Vrije Universiteit. 207 pp.
- DUMAS, B. (1977) *Le Levant Espagnol: la Genèse du Relief*. Thèse Doctorat d'État, Univ. Paris-XII. 520 pp.
- FUMANAL, M.P., MATEU, G., REY, J., SOMOZA, L. y M.J. VIÑALS (1993) Las unidades morfosedimentarias cuaternarias del litoral del Cap de la Nau (Valencia-Alicante) y su correlación con la plataforma continental. FUMANAL, M.P. y J. BERNABEU (eds.) *Estudios sobre Cuaternario*. Universidad de Valencia. Cf. pp. 53-64.
- FUMANAL, M.P. y A. YÉBENES (1996) Los depósitos cuaternarios de les Penyes de l'Albir en el contexto sedimentario litoral valenciano. *Cuad. de Geogr.*, 60: 259-294.
- GAIBAR, C. (1974) Los movimientos recientes del litoral alicantino. II: El segmento extendido entre la punta de Ifach y el Cabo de las Huertas. *Rev. Inst. Est. Alicantinos*, 11, 43-106.
- GRANIER, B. (1987) *Le Crétacé inférieur de la Costa Blanca entre Busot et Altea (Alicante, Espagne): Biostratigraphie, Sédimentologie, Evolution Tectono-Sédimentaire*. Thèse Doctorat d'État, Univ. Paris VI. 281 pp.
- GÜNTHER, E. (1941) Die quartären Niveauschwankungen im Mittelmeer unter besonderer Berücksichtigung des Beckens von Alborán. *Jenaische Zeitschrift Naturwiss.*, 74 (N.F. 67): 1-252.
- HARDING, T.P. (1985) Seismic characteristics and identification of negative flower structures, positive flower structures, and positive structural inversion. *A.A.P.G. Bull.*, 69: 582-600.
- HERNÁNDEZ-PACHECO, E. (1930) Mouvements et dépôts dans les côtes d'Espagne pendant le Pliocène et le Pleistocène (Résumé). *2ème Rapp. Com. Terr. Plioc. Et Pleist., U.G.I. (Congrès de Cambridge, 1928)*. Cf. pp. 49-55.
- HERNÁNDEZ-PACHECO, E. (1931) El problema de las terrazas pliocenas y pleistocenas en 1931. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 71: 289-338.
- HERNÁNDEZ-PACHECO, E. (1932) *Síntesis Fisiográfica y Geológica de España*. Trabajos Museo Nacional de Ciencias Naturales, Serie Geológica n° 38, 2 vols., 584 pp.

- HERNÁNDEZ-PACHECO, E. (1933) Las costas de la Península Hispánica y sus movimientos. *Asoc. Esp. Progreso Ciencias, Congr. XIII (Lisboa)*, t. V serie IV (2ª parte). Cf. pp. 89-120.
- I.G.M.E. (1987) *Contribución de la Exploración Petrolífera al Conocimiento de la Geología de España*. Madrid, Ministerio de Industria. 465 pp.
- JANSSEN, M.E., TORNÉ, M., CLOETHING, S. und E. BANDA (1993) Pliocene uplift of the eastern Iberian margin: Inferences from quantitative modelling of the Valencia Trough. *Earth & Planet. Sci. Lett.*, 119: 585-597.
- LÓPEZ CASADO, C., ESTÉVEZ, A., PINA, J.A. y C. SANZ (1987) Alineaciones sismotectónicas en el sudeste de España. Ensayo de delimitación de fuentes sísmicas. *Mediterránea Ser. Geol.*, 6: 5-38.
- MONTENAT, C., OTT D'ESTOU, P. and P. MASSE (1987) Tectonic-sedimentary characters of the Betic Neogene basins evolving in a crustal transcurrent shear zone (SE Spain). *Bull. Centr. Rech. Expl. Prod. Elf-Aquitaine*, 11: 1-22.
- MOSELEY, F., CUTTELL, J.C., LANGE, E.W., STEVENS, D. and J.R. WARBRICK (1981) Alpine tectonics and diapiric structures in the Pre-Betic zone of southeast Spain. *Jour. Struct. Geol.*, 3 (3): 237-251.
- NAVARRO, A., TRIGUEROS, E., VILLALÓN, C. et J.M. RÍOS (1962) Derniers progrès dans la connaissance de l'extrémité nord-est des chaînes subbétiques (Région d'Altea-Benisa, province d'Alicante, Espagne). *Livre à la Mémoire du Professeur P. Fallot*. Paris, Soc. Géol. France. Cf. vol. I, pp. 145-153.
- NOVO, P. (1915) Reseña geológica de la provincia de Alicante. *Bol. I.G.M.E.*, 36: 57-148.
- REY, J. y M.P. FUMANAL (1996) El Cuaternario submarino frente a la Serra Gelada (Alicante) y sus implicaciones eustático-paleogeográficas. *Cuad. de Geogr.*, 60: 243-258.
- REY, J., FUMANAL, M.P., FERRER, C., VIÑALS, M.J. y A. YÉBENES (1993) Correlación de las unidades morfológicas cuaternarias (dominio continental y plataforma submarina) del sector Altea-la Vila Joiosa, País Valenciano (España). *Cuad. de Geogr.*, 54: 249-267.
- RÍOS, J.M., VILLALÓN, C., TRIGUEROS, E. y A. NAVARRO (1961) *Mapa Geológico de España, 1:50.000, Hoja nº 848: Altea*. Madrid, IGME, 99 pp.
- RODRIGUEZ-ESTRELLA, T. (1977) Síntesis geológica del Prebético de la provincia de Alicante. II) Tectónica. *Bol. Geol. Minero*, 88: 273-299.
- ROSSELLÓ, V.M., ESTEBAN, V., YÉBENES, A. y M.P. FUMANAL (1995) Les Penyes de l'Albir: Geomorfología litoral cuaternaria. ALEIXANDRE, T. y A. PÉREZ GONZÁLEZ (eds.) *Reconstrucción de Paleoambientes y Cambios Climáticos Durante el Cuaternario*. Madrid, C.S.I.C. Cf. pp. 3-14.
- SANZ, C. and J. LÓPEZ GARRIDO (1991) Tectonic evolution of the Málaga Basin (Betic Cordillera). Regional implications. *Geodynamica Acta*, 5- 3: 173-186.
- SOLÉ, L., PORTA, J., SOLÉ, N., CUERDA, J., MUNTANER, A. et G. COLOM (1957) *Livret Guide de l'Excursion L. Levant et Majorque*. INQUA, V Congr. Intern. Madrid-Barcelona. 53 pp.
- VERA, J.A. (1983) Las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas. *Geología de España. Libro Jubilar de J. M. Ríos*. Madrid, I.G.M.E. Cf. pp. 218-251.
- VERNEUIL, E. DE et E. COULLOMB (1852) Coup d'oeil sur la constitution géologique de quelques provinces de l'Espagne. *Bull. Soc. Géol. France*, (2), X: 61-147.