

## UNIDADES TECTONICAS Y ESTRUCTURA DEL SECTOR MERIDIONAL DE SIERRA ESPUÑA (CORDILLERA BÉTICA, MURCIA)

C. Sanz de Galdeano \*, M. Martín-Martín \*.\*\*, y A. Estévez \*\*

### RESUMEN

En la parte sur de Sierra Espuña existen cinco unidades tectónicas, la superior del complejo Maláguide, debajo tres de carácter intermedio y en posición inferior una unidad alpujárride. Varias escamas tectónicas descritas en anteriores trabajos dentro de la unidad maláguide no existen sino que corresponden alternancias puramente estratigráficas. El desplazamiento tectónico de las unidades, de acuerdo con las vergencias de las estructuras menores se produjo hacia el SSE y hacia el E, según las coordenadas actuales. Los grandes pliegues y las fallas presentan vergencias hacia el S, SE y E, formando un arco convexo hacia el S, debido al arrastre producido por la falla de desgarre sinistrorsa y normal del borde SE de Sierra Espuña. Esta sierra ha sufrido un notable levantamiento, de 825 m al menos en algunos puntos, desde el Mioceno superior a la actualidad. La existencia de las unidades intermedias entre el complejo Maláguide y el Alpujárride, indica que el tránsito paleogeográfico entre ambos complejos no fue brusco sino progresivo.

**Palabras clave:** *Maláguide, Alpujárride, Zona Interna Bética, Cordillera Bética.*

### ABSTRACT

There are five tectonic units in the south part of Sierra Espuña; the upper one belongs to the Malaguide Complex, below there are three units of an intermediate character between the Malaguide and Alpujarride complexes, and in the lowest position exists one Alpujarride unit. Several thrust sheets, formerly distinguished in previous papers, affecting the Malaguide unit do not exist, merely corresponding to stratigraphic features. The tectonic transport of the units, as indicate the minor structures, show two directions, towards the SSE and the E, according the present coordinates. These units has been affected by reverse faults and folds facing to the S, SE and E, forming an arc convex to the S, feature than can be formed later, caused for the movement of a left strike-slip and normal fault, affecting the SE border of Sierra Espuña. This sierra has undergo an important uplift, at least of 825 m in some points, from the Late Miocene to the present. The existence of intermediate units between the Malaguide and Alpujarride complexes, show that the paleogeographic passage between both complexes was not sharp, but gradual.

**Key words:** *Malaguide, Alpujarride, Betic Internal Zone, Betic Cordillera.*

### Introducción

Sierra Espuña se sitúa al SE de Murcia, en la parte oriental de la Zona Interna Bética (fig. 1A). En su mayor parte corresponde al complejo Maláguide, pero en su borde meridional y parte del oriental hay una imbricación de unidades, las cuales presentan un carácter metamórfico, estratigráfico y tectónico «intermedio» entre el Maláguide y el

Alpujárride. Tan sólo en su extremo meridional, aparece una unidad alpujárride (fig. 1B).

### Antecedentes

Sierra Espuña fue estudiada por Fallot (1929, 1948) quien señaló el cabalgamiento del Maláguide sobre el Alpujárride e indicó que Sierra Espuña está

---

\* Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-Univ. Granada). Facultad de Ciencias. 18071 Granada. csanz@ugr.es.  
\*\* Departamento de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. Universidad de Alicante. AP. 99, 03080 Alicante.

formada por una pila de unidades principalmente triásicas con la excepción de la superior que presenta Jurásico y Terciario. Este autor discute el sentido de cabalgamientos sin tomar partido por ninguna hipótesis. Años más tarde Paquet (1962, 1969) distingue las siguientes unidades en el borde sur de Sierra Espuña, de abajo arriba: Molinos, Yéchar, Santa, Morrón Largo (unidades inferiores con Triásico), Morrón de Totana, Prat Mayor y Perona (unidades superiores con Mesozoico e incluso Terciario). Para este autor el sentido de apilamiento de unidades sería aparentemente del NO hacia el SE y tendría lugar durante el «Auversense» (Eoceno Medio parte alta).

Posteriormente, Kampschuur *et al.* (1974 a, b y c) y Egeler *et al.* (1974) hicieron los mapas geológicos a escala 1:50.000 del IGME, correspondientes a las hojas de Coy, Alcantarilla, Lorca y Totana. Estos autores siguieron, en lo esencial, las ideas y unidades propuestas por Paquet, aunque la unidad alpujárride de Molinos la dividen en Molinos y Los Guillemos.

Mäkel y Rondeel (1979) estudian la estratigrafía y el metamorfismo del sur de Sierra Espuña. Indican que el Alpujárride presenta un mayor grado de metamorfismo que el Maláguide, lo que ocurre de forma progresiva entre las unidades (una conclusión similar obtienen Nieto *et al.*, 1994), pero no ven transiciones entre las series litológicas por lo que no aceptan que haya unidades de carácter intermedio. Mäkel (1981 y 1985) estudia la estructura del sur de Sierra Espuña y, además de reafirmar las anteriores conclusiones, describe dos fases de plegamiento y cabalgamiento, la primera acompañada de metamorfismo y después se produjo el cabalgamiento de unidades, cuya dirección de emplazamiento no puede determinar con seguridad, aunque la asimetría de las estructuras y sus vergencias indican que posiblemente fue hacia el sur.

Más adelante, Lonergan (1991 y 1993) y Lonergan *et al.* (1994) realizaron un estudio estructural sobre la base de la cartografía, estratigrafía y unidades diferenciadas por Paquet (1969). Según estos autores el sentido de apilamiento sería hacia el N-NO y la edad de la deformación compresiva debería situarse durante el Eoceno Superior.

Allerton *et al.* (1992 y 1993) estudian, a partir de datos paleomagnéticos, las rotaciones de varias unidades de la parte oriental de la Cordillera Bética, entre ellas Sierra Espuña, y deducen que ésta habría rotado unos 200° desde el Triásico hasta el Mioceno Superior. La rotación sería progresiva a lo largo del Oligoceno-Mioceno.

Los últimos trabajos en Sierra Espuña se deben a Martín-Martín (1996), Martín-Martín *et al.*

(1997a, 1997b) y Martín-Martín y Martín-Algarra (1997). Estos autores estudian los terciarios maláguides del norte de Sierra Espuña, describen una estratigrafía más detallada, dan nuevas dataciones y proponen que las unidades superiores deben ser reducidas a dos, por entender que la unidad de Prat Mayor de Paquet (1969) es, en realidad, un pliegue sin que haya ruptura que justifique la necesidad de una unidad. Sin realizar un estudio de detalle sobre el Triásico estos autores también proponen que la Unidad de Morrón Largo de Paquet (1969) debería ser considerada la base de la Unidad de Morrón de Totana, no existiendo un contacto tectónico mayor entre ambas. Para estos autores la deformación compresiva es de edad Oligoceno Superior-Mioceno Inferior, proponiendo un sentido de apilamiento hacia el NO, de acuerdo con los cambios de facies terciarias que se reconocen en las dos unidades superiores.

### Objetivos

El propósito del presente artículo pretende cubrir los siguientes aspectos: *a)* Diferenciar de forma más precisa las unidades tectónicas existentes en la parte meridional de Sierra Espuña. *b)* Describir su estructura. *c)* Mostrar el sentido de transporte tectónico de las unidades, según indican las estructuras menores. *d)* Señalar el significado paleogeográfico de las unidades intermedias entre los complejos Alpujárride y Maláguide.

### Principales rasgos litológicos de las unidades de la parte meridional de Sierra Espuña

De acuerdo con la cartografía que hemos realizado, distinguimos las siguientes unidades, citadas desde la más alta a la más baja tectónicamente: Morrón de Totana, La Santa, Yéchar, Jaboneros (antes no conocida) y Molinos.

#### *Unidad de Morrón de Totana*

Es una unidad maláguide y presenta de muro a techo: Grauvacas verdosas y areniscas, paleozoicas, tan sólo localmente representadas. Encima se desarrolla la secuencia triásica formada por: *a)* Lutitas rojas con intercalaciones de conglomerados poligénicos de tamaño métrico, con cantos redondeados (abundan los cantos de cuarzo y lilita). Este término hacia la parte alta intercala niveles métricos de areniscas de color dorado, a veces moteadas, con estructuras de corriente (estratifi-

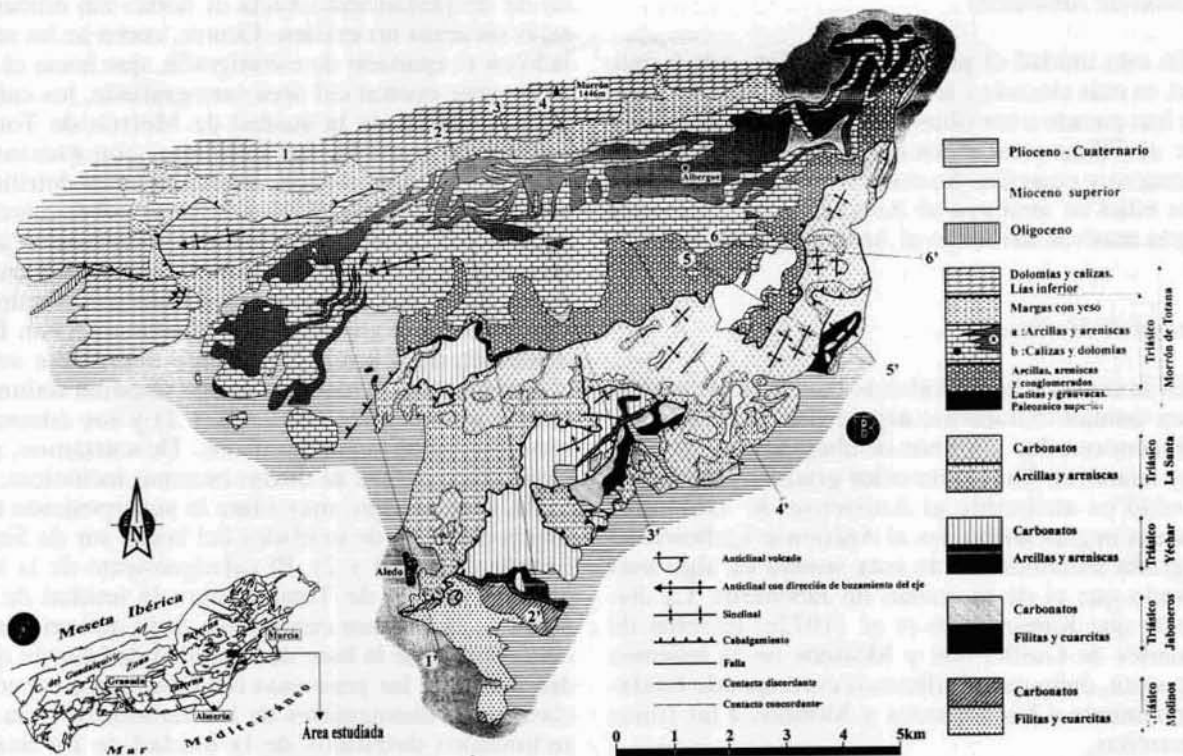


Fig. 1.—A. Situación geográfica y geológica del área estudiada dentro de la Cordillera Bética. B. Mapa geológico simplificado del área estudiada. Se marca la posición de los cortes de la figura 2.

caciones cruzadas o en artesa). Su edad es Anisiense-Ladiniense. *b*) Nivel dolomítico masivo o estratificado sin estructuras apreciables, salvo la presencia de huecos de anhidrita y laminaciones no tractivas del Ladiniense-Carniense. *c*) Lutitas anaranjadas con intercalaciones de conglomerados de cantos calcáreos, niveles de margas, margocalizas, calizas y dolomías con nódulos y bandas de sílex y areniscas con estructuras de corriente. Su edad es Carniense-Noriense? *d*) Arcillas grises con abundantes niveles de yeso que hacia la base y techo pasan a calizas o dolomías estratificadas del Noriense?-Retiense. Este último tramo da paso hacia arriba a la serie Jurásico-terciaria (*e*).

En la zona estudiada, los términos *a*, *d* y *e* constituyen bandas cartográficas que se pueden reconocer a lo largo de la falda sur de Sierra Espuña. Sin embargo, los términos intermedios (*b* y *c*) presentan una arquitectura estratigráfica más complicada, produciéndose cambios de facies entre ellos. De este modo en el sector central son las dolomías masivas las predominantes, con tan sólo delgadas intercalaciones areniscosas, mientras que hacia el E, el N y el O ocurre lo contrario, siendo las areniscas ana-

ranjadas las dominantes con intercalaciones, a veces lenticulares, de carbonatos.

#### Unidad de La Santa

Presenta grandes similitudes con la unidad suprayacente y se pueden reconocer dos términos que de abajo arriba son: *a*) Lutitas rojas con intercalaciones de areniscas con estructuras tractivas. Su color es algo más intenso, su edad es Anisiense-Ladiniense y presenta un muy ligero metamorfismo. *b*) Dolomías oscuras masivas o estratificadas del Ladiniense-Carniense. Localmente presentan intercalaciones de lutitas.

#### Unidad de Yéchar

Esta unidad tiene mayores diferencias con las suprayacentes en cuanto a aspecto y grado metamórfico. De abajo arriba se diferencian dos términos: *a*) Lutitas esquistosas de color rojo pardo con tintes violáceos, atribuidas al Anisiense. Este término ocasionalmente puede presentar yesos. *b*) Dolomías negras masivas, atribuidas al Anisiense-Ladiniense.

### *Unidad de Jaboneros*

En esta unidad el grado metamórfico, aún siendo bajo, es más elevado y las lutitas ya no son tales, sino que han pasado a ser filitas. Se diferencian dos términos: *a)* Filitas y esquistos de grano fino con niveles de cuarzo y cuarcitas. Su color es violáceo a púrpura y su edad se atribuye al Anisiense. *b)* Dolomías negras masivas atribuidas al Anisiense-Ladiniense?

### *Unidad de Molinos*

En la zona es la unidad más baja y constituye la única unidad claramente alpujárride representada. Se reconocen dos términos de abajo arriba: *a)* Filitas y cuarcitas. Toman un color grisáceo-violáceo y su edad es atribuible al Anisiense. *b)* Dolomías masivas negras atribuidas al Anisiense-Ladiniense? El grado metamórfico de esta unidad es algo más elevado que el de la unidad de Jaboneros. La distinción que Kampschuur *et al.* (1972c) hicieron de unidades de Guillemos y Molinos no la tenemos en cuenta, dado que Guillemos corresponde fundamentalmente a las dolomías y Molinos a las filitas y cuarcitas.

Las unidades de La Santa, Yéchar y Jaboneros las consideramos intermedias entre el Alpujárride y el Maláguide, tal como hizo Paquet (1969) con las dos primeras, por las siguientes razones: 1.º Están tectónicamente situadas entre el complejo Maláguide y el Alpujárride. 2.º Su metamorfismo es mayor obviamente que la unidad maláguide que las cabalga (que no es nada metamórfica) y menor que la unidad alpujárride situada en posición inferior; esto mismo ocurre entre ellas. 3.º Sus secuencias triásicas, descontado el metamorfismo, muestran una progresiva transición paleogeográfica entre las unidades empiladas: de distal, en las unidades más inferiores, a proximal, en las unidades más superiores.

### **Estructura del borde sur de Sierra Espuña**

Conviene en primer lugar señalar que en la literatura previa, antes indicada, se describen una serie de unidades, a modo de escamas tectónicas, que se desarrollarían en la unidad maláguide de Morrón de Totana (Mäkel y Rondel, 1979 y Mäkel, 1981 tan sólo distinguen allí un cabalgamiento, necesario para separar sus unidades de Morrón y Atalaya). Se trata, según dichos autores, de escamas que repiten la secuencia triásica maláguide (formada por materiales detríticos rojos, coronados por carbonatos) a las que Lonergan (1991, 1993) les atribuye un senti-

do de desplazamiento hacia el norte. Sin embargo, estas escamas no existen. Ocurre, como se ha señalado en el apartado de estratigrafía, que hacia el S y en la parte central del área cartografiada, los carbonatos triásicos de la unidad de Morrón de Totana forman un paquete casi continuo, con escasas, o nulas en algunos puntos, intercalaciones detríticas, mientras que hacia el N, E y O se subdividen en multitud de niveles entre los que se intercalan arcillas, arenas y conglomerados, acompañados en no pocos casos por formaciones de brechas, slumps y procesos de erosión interna y resedimentación. Esta repetición de niveles, claramente observable sobre el terreno y en cartografía, es una cuestión sedimentaria y no tectónica (figs. 1B y 2) y los contactos son netamente estratigráficos. Descartamos, por tanto, la existencia de dichas escamas tectónicas.

Es, sin embargo, muy clara la superposición tectónica del resto de unidades del borde sur de Sierra Espuña (figs. 1B y 2). El cabalgamiento de la unidad de Morrón de Totana sobre la unidad de La Santa es fácilmente controlable dado que en numerosos puntos de la base de la unidad de Morrón quedan restos de las grauvacas del Paleozoico superior, claramente distinguibles de los carbonatos o de los sedimentos detríticos de la unidad de La Santa, situada en su base. Tampoco es generalmente difícil controlar la superposición de la unidad de La Santa sobre la de Yéchar pues el cabalgamiento de los sedimentos detríticos de la base de Santa suele dar un buen contraste con los carbonatos de Yéchar. Además, los sedimentos detríticos de la unidad de Yéchar tienen ya unos tonos más pardos y un cierto desarrollo de esquistosidad. El contraste se acentúa con la unidad de Jaboneros y aún más con la unidad alpujárride de los Molinos, por lo que las superposiciones generalmente se distinguen bien. Tan sólo en algunos sectores cartográficamente complicados puede haber algunas dudas en la distinción de las unidades de La Santa y Yéchar.

Las unidades intermedias se laminan localmente (figs. 1B y 2), lo que hace que en algunos puntos la unidad de Morrón de Totana se superponga directamente sobre la de Yéchar (esto ocurre unos 4 km al N de Aledo, donde se observa una pequeña ventana tectónica de la unidad de Yéchar) habiendo desaparecido totalmente la de La Santa. Por otra parte, la unidad de La Santa y la de Yéchar se superponen, una u otra según los puntos, directamente a la unidad alpujárride y la de Jaboneros tan sólo aflora en ventana tectónica en dos sectores bastante complicados tectónicamente, donde, sin duda, está fuertemente pinzada.

Esta superposición de las unidades ha sido posteriormente afectada por fallas y pliegues. Existen algunas fallas inversas que en conjunto tienen una

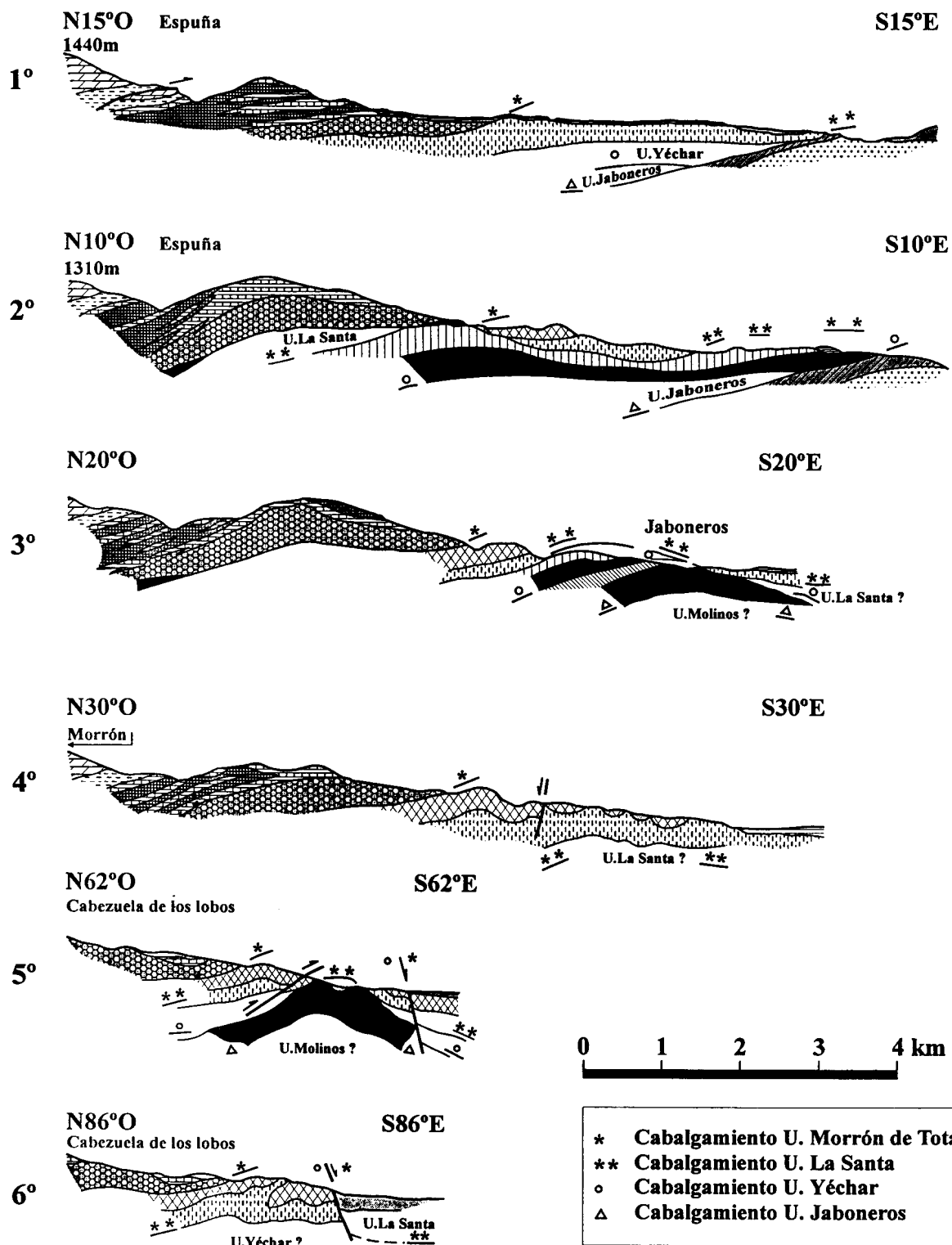


Fig. 2.—Cortes geológicos del sur de Sierra Espuña. Su posición se marca en la figura 1B. Las tramas de los cortes corresponden con las de la figura 1B.

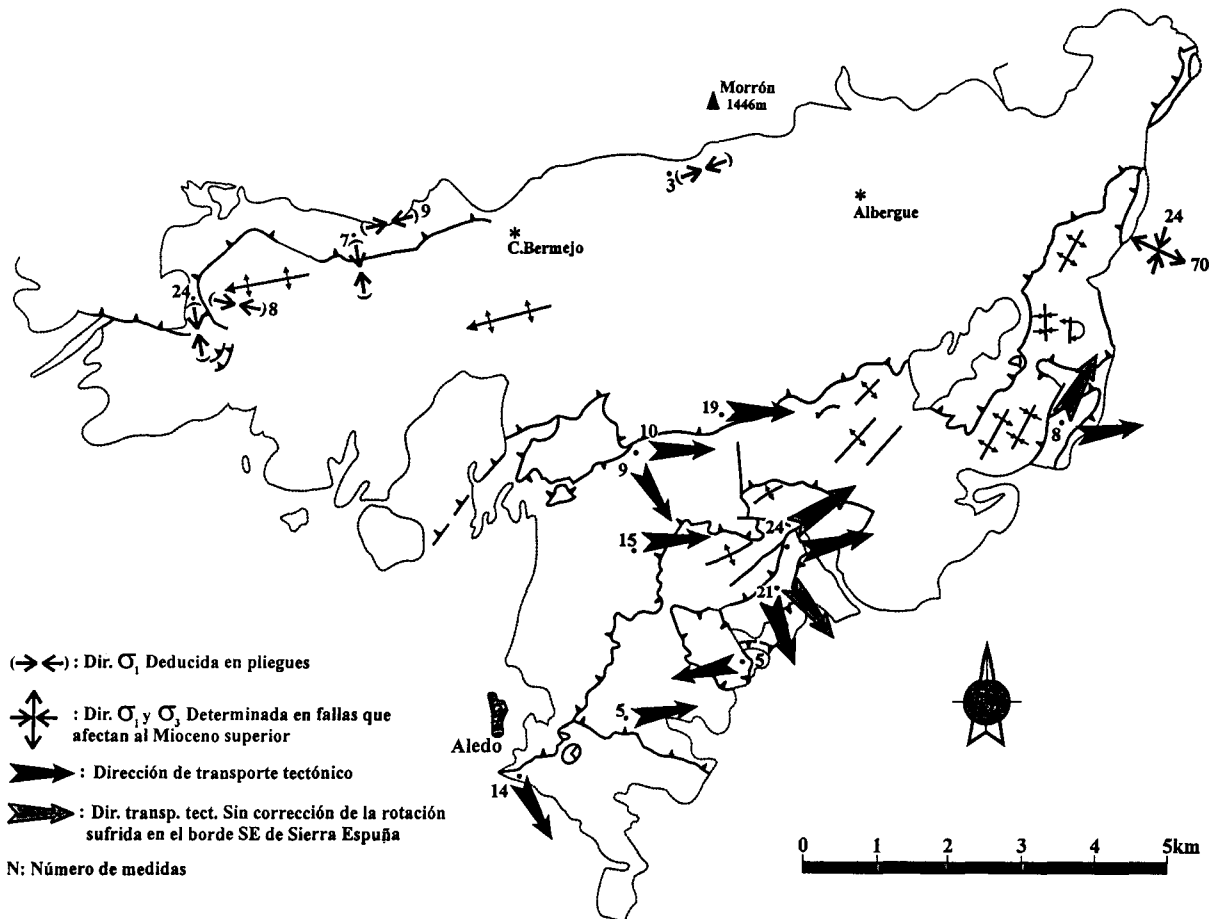


Fig. 3.—Direcciones de desplazamiento tectónico obtenidas a partir de estructuras menores en el sur de Sierra Espuña. También se señalan las direcciones de  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  obtenidas a partir de pliegues y fallas menores.

disposición arqueada, convexa hacia el S y E y son vergentes en la misma dirección. Son casi E-O a ENE-OSO en la parte occidental y pasan a ser NNE-SSO en la parte oriental (figs. 1B y 3). Esto es más patente aún con los pliegues, aquí descritos por primera vez, que afectan a las unidades en el borde sur de Sierra Espuña. Estos pliegues, poco apretados hacia el O, lo son cada vez más hacia el E y ya en el borde sudoriental, donde tienen una dirección prácticamente N-S, llegan a mostrar inversiones con vergencia hacia el E (en algún punto la vergencia localmente es hacia el O, pero son mucho más importantes las observadas hacia el E).

Existen además algunas fallas normales que afectan a los contactos de las unidades, lo que ya fue señalado por Mäkel (1981). Hay que destacar que el borde suroriental de Sierra Espuña está afectado por una importante falla de dirección NNE-SSO, sinistrorsa y normal, que hunde su labio oriental (figs. 1B y 3), acompañada de un sinfín de pequeñas fallas normales y de desgarre (Lonergan y Schreiber,

1993) y que afecta a materiales del Mioceno superior. El salto vertical de esta falla es de algo más de 500 m, a juzgar por la diferencia de cotas a la que se encuentran sedimentos marinos tortonienses en el interior del borde meridional de Sierra Espuña y en su borde SE.

### Estructuras menores

La zona estudiada no es abundante en afloramientos que permitan determinar el sentido de desplazamiento de las unidades y ello ha dado lugar a diferentes hipótesis. Sin embargo, algunas pistas forestales y el canal de transvase del Segura permiten observar algunos cortes recientes; también hemos encontrado algunos cortes naturales que permiten la observación de estructuras menores. Hemos estudiado con especial interés los contactos entre unidades, con el fin de determinar su movimiento relativo. Los resultados se expresan en la figura 3.

En la unidad inferior, la de los Molinos, existe un buen afloramiento, situado casi en su extremo occidental. Se observan allí pliegues menores y cizallas formados en filitas y cuarcitas, próximas a la base de los carbonatos que a pocos metros soportan a la unidad de La Santa. Los pliegues tienen tendencia a tener su flanco sur invertido, deforman a la esquistosidad más patente y desarrollan una esquistosidad de plano axial, bastante abierta, buzante unos 25° hacia el norte (vergencia al sur). Las cizallas muestran formas asimétricas claramente vergentes al sur. Se han obtenido allí 14 medidas, todas muy homogéneas, que dan una dirección de transporte tectónico hacia la dirección N149°E.

En la unidad de Jaboneros se desarrollan estructuras similares, en una situación geológica parecida. Se han tomado medidas en tres sectores. En el situado más al O se han hecho 21 medidas y se obtiene una dirección de transporte tectónico hacia la dirección N140°E. Poco más al E, con 24 medidas, la dirección obtenida es hacia la dirección N56°E. En el sector más oriental, con 8 medidas, la dirección obtenida es N29°E. Estas direcciones pensamos que están rotadas, tal como se discute posteriormente.

En la unidad de Yéchar, cerca de su base, tan sólo se han obtenido 5 medidas en su sector meridional. Corresponden a cizallas casi horizontales que dan un sentido de desplazamiento del techo hacia la dirección N80°E.

En la base de la unidad de La Santa se han obtenido medidas en dos sectores. En el más meridional se hicieron 5 medidas en estructuras de cizallas prácticamente horizontales que dan una dirección de desplazamiento del techo hacia la dirección N257°E. Es el único sector donde se obtiene esta orientación, pero las estructuras eran claras. Unos 2 km más al N se obtuvieron 15 medidas en lutitas y cuarcitas y el resultado es una dirección de desplazamiento del techo hacia N85°E.

En el contacto entre las unidades de La Santa y de Morrón de Totana se encontraron dos sectores con estructuras bien desarrolladas. Corresponden a cizallas prácticamente horizontales en las que observan numerosos «peces» con estructuras sigmoides con colas asimétricas que dan claras indicaciones del sentido de desplazamiento. El tamaño de estos peces oscila desde unos pocos centímetros a la decena de metros y en no pocos casos aparecen unos junto a otros. También hay pliegues subsidiarios de las cizallas que presentan también vergencias claramente observables. En el sector más occidental las medidas se dividen en dos grupos. Hay 10 medidas que dan direcciones de desplazamiento tectónico del bloque de techo hacia el E; el valor medio es N88°E. Otras 9 medidas dan una direc-

ción de desplazamiento hacia el SSE; el valor medio es N147°E. En el sector más oriental, con 18 medidas en similares estructuras, la dirección obtenida es N91°E.

En el tramo d de la unidad de Morrón de Totana, los yesos forman localmente pliegues en los que no se observa ninguna vergencia neta y sus ejes son generalmente horizontales. Se han medido en tres puntos. En el mejor, el más occidental, los pliegues presentan una neta interferencia entre dos juegos cuyos ejes son aproximadamente N80°E y otros N10°E, sin que hayamos logrado saber cuál de estos juegos es anterior. Se han hecho en total 32 medidas, de las que 24 darían una dirección medida de  $\sigma_1$  de N169°E (asumiendo que los ejes de los pliegues se formarían perpendicularmente a  $\sigma_1$ ). Las otras 8 medidas darían una dirección media de  $\sigma_1$  de N102°E. En el sector central 7 medidas darían una dirección N170°E y otras 9 medidas una dirección N76°E. En el sector más oriental con tan sólo 3 medidas se obtiene una dirección de  $\sigma_1$  de N70°E.

En el sector más suroriental de Sierra Espuña, donde existe la gran falla sinistrorsa y normal antes citada, se han hecho numerosas medidas de fallas normales y de desgarre. En algunos casos una misma superficie de falla muestra rasgos de ambos tipos a la vez. Se han utilizado sólo aquellas fallas en las que el sentido de desplazamiento es claro, pero hay que hacer notar que en algún caso una misma superficie de falla muestra, además de movimientos normales y de desgarre, sentidos opuestos, sinistrorsos y dextrorsos, claramente separables. En ese caso se han tomado como fallas diferentes. En total se han obtenido 70 medidas de fallas normales, que marcan una dirección de extensión ( $\sigma_3$ ) de N114°E y 24 fallas de desgarre a partir de las que se obtiene una dirección de compresión horizontal máxima de N16°E. Estos ejes son casi ortogonales (98°) por lo que el resultado obtenido parece fiable y hay que pensar que estas fallas de desgarre y normales formadas a partir del Tortoniense son singenéticas.

### Discusión y edades de las deformaciones

El aspecto sin duda más discutible es la dirección de emplazamiento de las unidades. Como ya se indicó, Paquet (1969) y Mäkel (1981 y 1985) se inclinan por un emplazamiento hacia el S, *sensu lato*, mientras que Lonergan (1991 y 1993) y Martín-Martín (1996) señalan que el emplazamiento se produjo de S a N o quizás de SSE a NNO, generando un «antiformal stack» (Boyer y Elliot, 1982) cuyo flanco S fue afectado por las fallas normales y de desgarre, haciendo aflorar las unidades inferiores.

Los datos obtenidos a partir de estructuras menores señalan claramente dos direcciones de emplazamiento tectónico: hacia el SSE y hacia el E. Estas medidas son muy homogéneas, con la sola excepción del sector antes señalado de la base de la unidad de La Santa, que da un desplazamiento hacia el O, lo que quizás se deba a una rotación local de un bloque pequeño, dado que el afloramiento se encuentra prácticamente en el borde de Sierra Espuña (fig. 3).

Estas direcciones hacia el SSE y hacia el E aparentemente no se cumplen en la unidad de Jaboneros, pero si se tiene en cuenta la rotación antihoraria que estimamos que han sufrido en esos sectores los pliegues mayores ( $52^\circ$  en el sector más oriental,  $20^\circ$  en el central y  $18^\circ$  en el más occidental), los valores de  $29$ ,  $56$  y  $140^\circ$  pasan respectivamente a ser de  $81$ ,  $76$  y  $158^\circ$ . (Estos valores de rotación se han estimado midiendo la desviación que existe en la dirección de los ejes de los pliegues mayores, con respecto a la  $N80^\circ E$  que tienen esos pliegues en puntos alejados de la falla sinistorsa y normal.)

Las direcciones de  $\sigma_1$  obtenidas en los micropliegues en yesos son plenamente congruentes con las direcciones de transporte tectónico hacia el SSE y el E, con lo que podría pensarse que su formación es coetánea. De estas direcciones no hemos podido discernir cuál es anterior. Quizás lo sea la que se dirige hacia el SSE, si se juzga por la gran falla inversa que hay dentro de la unidad de Morrón de Totana, cuya terminación occidental pasa de una dirección aproximada  $N80^\circ E$  a otra casi E-O y puede interpretarse como una superposición de su movimiento hacia el E. Pero el argumento no es concluyente y no permite establecer nada seguro.

Tampoco sabemos si las estructuras menores descritas se formaron durante el empilamiento original de las unidades o si corresponden a etapas posteriores superpuestas, etapas que, sin duda, se han producido. Una mayor aproximación al tema debe de hacerse teniendo en cuenta toda Sierra Espuña y su entorno, así como los datos de las posibles rotaciones del conjunto de la sierra y la disposición de las facies observables en las unidades superiores.

La edad del cabalgamiento de las unidades no puede obtenerse con precisión en el sector estudiado, aunque en su parte occidental el Oligoceno inferior se encuentra cabalgado por una falla inversa dentro de la unidad de Morrón de Totana. Regionalmente sabemos que, dado que formaciones del Aquitaniense terminal-Burdigaliense inferior (tipo Viñuela) son discordantes a la vez sobre el complejo Maláguide y sobre el Alpujárride, la superposición de las unidades se logró, en general,

algo antes, aproximadamente en el Oligoceno superior-Aquitaniense. Pero, por otra parte, en el contacto entre las Zonas Interna y Externa de la Cordillera Bética, las unidades han podido verse afectadas por nuevos desplazamientos, sobre todo durante el Burdigaliense y Sierra Espuña forma parte de dicho contacto.

La forma de arco que describen, sobre todo, los pliegues, en su parte oriental, se ha debido de adquirir posteriormente y por efecto de la falla de desgarre sinistorsa y normal del borde SE de Sierra Espuña. En este borde, las fallas y pliegues anteriores fueron rotados hasta una dirección casi N-S (figs. 1B y 3).

El levantamiento principal de Sierra Espuña, se produjo en gran medida a partir del Tortonense, aunque parte de Sierra Espuña ya podía estar emergida durante el Serravaliense, lo que ya apunta Martín-Martín (1996) en sus modelos paleogeográficos para el Mioceno Medio. El levantamiento de la región ha sido al menos de  $825$  m, que es la máxima cota a la que se observan sedimentos marinos tortonenses en esta falda sur de Sierra Espuña.

### Significado paleogeográfico de las unidades intermedias

Las unidades de La Santa, Yéchar y Jaboneros tienen, tal como se ha señalado desde el principio, características intermedias entre el Maláguide y el Alpujárride. Unidades similares existen en otros sectores de la Zona Interna Bético-Rifeña: en las proximidades de Ceuta las unidades de Federico (Durand-Delga y Kornprobst, 1963; Didon *et al.*, 1973), en el área de Casares (Didon *et al.*, 1973; Sanz de Galdeano, 1997; Sanz de Galdeano *et al.*, 1999), al NE de Granada (Sanz de Galdeano *et al.*, 1995), en Cartagena (García-Tortosa *et al.*, 2000), etc. Se trata, a diferencia de lo que opinan Mäkel y Rondeel (1979) y Mäkel (1981) de un conjunto de unidades que formaron el tránsito paleogeográfico entre ambos complejos, lo que significa que el límite entre estos complejos no fue abrupto sino gradual, correspondiendo a una amplia banda. Las unidades maláguides muestran en general características más proximales: se trata de dominios de transición marino continental con una gran influencia detrítica. Por su parte, el Alpujárride muestra una tendencia a representar los dominios marinos someros, algo más alejados de costa y con menor influencia detrítica. Es en estas unidades de transición donde observamos que las unidades más superiores son más proximales y afines al Maláguide, mientras que las más inferiores son más distales y de afinidad Alpujárride. Natural-



mente, esto se deduce de los materiales triásicos, pues estas unidades intermedias, salvo restos de basamento paleozoico presentes en otros sectores, no presentan casi nunca materiales de otras edades. En esa edad, el Triás, se inició un importante proceso de rifting que sin duda afectó al área donde se formaron las unidades intermedias y a los complejos Alpujárride y Maláguide, por lo que, aún siendo transicional el paso de uno a otro complejo, sin duda hubo fallas importantes que facilitaron este tránsito. Pero estas fallas también afectaron a los citados complejos y a otros dominios más alejados.

## Conclusiones

El borde S y SE de Sierra Espuña está formado por cinco unidades tectónicas, la superior del Maláguide, debajo tres de carácter intermedio entre el Maláguide y el Alpujárride y en posición inferior, una unidad alpujárride. Las escamas que se distinguían anteriormente en la unidad maláguide no existen: son repeticiones estratigráficas de niveles de carbonatos y de niveles detríticos y, por tanto, no son repeticiones tectónicas.

Este empilamiento de unidades, en el cual las estructuras menores señalan dos claras direcciones de desplazamiento tectónico de las unidades, hacia el SSE y hacia el E, ha sido afectado por pliegues y algunas fallas inversas y con vergencias S, SE y E, dando un arco convexo hacia el S. La forma del arco puede interpretarse como debida al arrastre producido por la falla de desgarre sinistrorsa del borde SE de Sierra Espuña. Esta sierra ha sufrido un notable levantamiento, de 825 m al menos en algunos puntos, desde el Mioceno superior a la actualidad.

La existencia de las unidades intermedias entre el complejo Maláguide y el Alpujárride, indica que el paso entre ambos complejos no fue brusco sino progresivo, constituyendo una amplia zona de transición entre ambos.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por los proyectos PB97-1267-C03 BTE2000-299 y PB96-1430 de la DGESIC y por los Grupos de Investigación RNM-208 y 217 de la Junta de Andalucía.

## Referencias

- Allerton, S., Lonergan, L., Platt, J. P., Platzmann, E. S. y McClelland (1993). Palaeomagnetic rotation in the eastern Betic Cordillera, southern Spain. *Earth. Planet. Sci. Letters*, 119: 225-241.
- Allerton, S., Platt, J. P., Platzmann, E. S., McClelland, E. y Lonergan, L. (1992). Palaeomagnetic study of Tectonic Rotations in the Eastern Betic Cordillera, Southern Spain. En: *Física de la Tierra. Paleomagnetismo y Tectónica en las Cordilleras Béticas* (M. L. Osete y M. Calvo, eds.). Ed. Complutense, Madrid, 4: 185-204.
- Boyer, S. E. y Elliot, D. (1982). Thrust systems. *AAPG Bull.*, 66: 1196-1230.
- Didon, J., Durand-Delga, M. y Kornprobst, J. (1973). Homologies géologiques entre les deux rives du détroit de Gibraltar. *Bull. Soc. Géol. France*, 15: 77-105.
- Durand-Delga, M. y Kornprobst, J. (1963). Esquisse géologique de la région de Ceuta (Maroc). *Bull. Soc. Géol. France*, 5: 1049-1057.
- Egeler, C. G., Kampschuur, W., Langenberg, C. W., Montenat, Ch., Pignatelli, R. y Rondeel, H. E. (1974). *IGME. Mapa Geológico de España, e:1:50.000, hoja 954 (Totana)*.
- Fallot, P. (1929). Rapports du Subbétique avec le Bétique dans les Sierras Tercia et Espuña. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 188: 404.
- Fallot, P. (1948). Les Cordillères Bétiques. *Estudios Geol.*, 8: 83-172.
- García-Tortosa, F. J., López-Garrido, A. C. y Sanz de Galdeano, C. (2000). Présence du complexe tectonique Malaguide à l'Est de Carthagène (Zone Interne Bétique, Espagne). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 330: 139-146.
- Kampschuur, W., Langeberg, C. W., Montenat, Ch., Pignatelli, R. y Egeler C. G. (1972a). Mapa Geológico de España (1:50.000). Hoja de Alcantarilla, n.º 933. *IGME*. Madrid, 34 págs.
- Kampschuur, W., Langeberg, C. W., Baena, J., Velando, F., García-Monzón, G., Paquet, J. y Rondeel, H. E. (1972b). Mapa Geológico de España (1:50.000). Hoja de Coy, n.º 932, *IGME*. Madrid, 38 págs.
- Kampschuur, W., Langenberg, C. W., Rondeel, H. E., Espejo, J. A., Crespo, A. y Pignatelli, R. (1974c). Mapa Geológico de España, e:1:50.000, hoja 953 (Lorca). *IGME*, Madrid, 43 págs.
- Lonergan, L. (1991). *Structural evolution of the Sierra Espuña, Betic Cordillera, SE Spain*. Phil. D. Thesis Univ. Oxford, Oxford, England, 154 págs.
- Lonergan, L. (1993). Timming and Kinematics of deformation in the Malaguide Complex, Internal Zone of the Betic Cordillera, Southeast Spain. *Tectonics*, 12, 2: 460-476.
- Lonergan, L., Platt, J. P. y Gallagher, L. (1994). The Internal-External Zone Boundary in the eastern Betic Cordillera, SE Spain. *J. Struct. Geol.*, 16, 2: 175-188.
- Lonergan, L., y Schreiber, B. C. (1993). Proximal deposits at a fault — controlled basin margin, Upper Miocene, SE Spain. *J. Geol. Soc. London*, 150: 719-727.
- Mäkel, G. H. (1981). Differences in tectonic evolution of superimposed Malaguide and Alpujárride tectonic units in the Espuña area (Betic Cordilleras, Spain). *Geol. Mijnbouw*, 60: 203-208.
- Mäkel, G. H. y Rondeel, H. E. (1979). Differences in stratigraphy and metamorphism between superposed Malaguide and Alpujárride units in the Espuña area (Betic Cordilleras, Spain). *Estudios Geol.*, 35: 109-117.
- Mäkel, G. H. (1985). *The geology of the Malaguide Complex and its bearing on the geodynamic evolution of the Betic-Rif orogen (southern Spain and northern Morocco)*. GUA papers of Geology. Ser 1, 22, 263 págs.

- Martín-Martín, M. (1996). *El Terciario del Dominio Maláguide en Sierra Espuña (Cordillera Bética oriental, SE de España). Estratigrafía y Evolución Paleogeográfica*. Tesis Doctoral Univ. Granada, 297 págs.
- Martín-Martín, M. y Martín Algarra, A. (1997). La estructura del área de Sierra Espuña (Contacto Zonas Internas-Externas, Sector oriental de la Cordillera Bética). *Estudios Geol.*, 53: 237-248.
- Martín-Martín, M., El Mamoune, B., Martín-Algarra, A., Martín-Pérez, J. A. y Serra-Kiel, J. (1997a). Timing on deformation in the Malaguide Complex of the Sierra Espuña (SE Spain). Geodynamic evolution of the Internal Zone. *Geol. Mijnbouw*, 75: 309-316.
- Martín-Martín, M., El Mamoune, B., Martín-Algarra, A. y Serra-Kiel, J. (1997b). La formation As, datée de L'Oligocène, est impliquée dans les charriages des unités Malaguides supérieures de la Sierra Espuña (Zonas Internas Béticas, Province de Murcie, Espagne). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 325: 861-868.
- Nieto, F., Velilla, N., Peacor, D. R. y Ortega Huertas, M. (1994). Regional retrograde alteration of subgreenschist facies chlorite to smectite. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 115: 243-252.
- Paquet, J. (1962). Les différentes unités de la Sierra de l'Espuña (prov. de Murcie, Espagne). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 255: 2995-2997.
- Paquet, J. (1969). *Etude géologique de l'Ouest de la province de Murcie*. Bull. Soc. Géol. France, 111, 270 págs.
- Sanz de Galdeano, C. (1997). *La Zona Interna Bético-Rifeña (Antecedentes, unidades tectónicas, correlaciones y bosquejo de reconstrucción paleogeográfica)*. Monográfica Tierras del Sur, Univ. de Granada, 316 págs.
- Sanz de Galdeano, C., Delgado, F. y López-Garrido, A. C. (1995b). Estructura del Alpujarride y del Maláguide al NW de Sierra Nevada (Cordillera Bética). *Rev. Soc. Geol. España*, 8: 239-250.
- Sanz de Galdeano, C., López-Garrido, A. C., Andreo, B. (1999). The stratigraphic and tectonic relationships of the Alpujarride and Malaguide complexes in the western Betic Cordillera (Casares, prov. of Malaga, South Spain). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 328: 113-119.

Recibido el 16 de junio de 2000.

Aceptado el 24 de noviembre de 2000.