

El amortiguamiento frontal de la estructura de la cobertera surpirenaica y su relación con el anticlinal de Barbastro-Balaguer

M.^a B. MARTÍNEZ PEÑA⁽¹⁾ y A. POCOVI⁽²⁾

(1) Escuela de Profesorado de EGB. (Area de Geodinámica). Universidad de Zaragoza

(2) Dep. Geología (Area de Geodinámica). Universidad de Zaragoza

RESUMEN

La estructura de la parte frontal del sector central del Pirineo Meridional está constituida por una sucesión de escamas imbricadas, generalmente con escasa deformación interna por plegamiento. En el conjunto de estas escamas se distinguen tres sectores (Montsec, Sierras Marginales y franja de Terciario continental despegado) limitadas por los accidentes principales que denominamos *cabalgamiento del Montsec*, *cabalgamiento inferior de las Sierras Marginales* y *cabalgamiento de San Esteban de Litera*. Este último emerge en el anticlinal de Barbastro-Balaguer y tiene como nivel de despegue la base de los yesos del Eoceno en vez del Keuper, tan generalizado en el dominio surpirenaico.

Un corte compensado refleja un acortamiento de unos 11 km entre el frente del Montsec y el cabalgamiento inferior de las Sierras Marginales. Una tentativa de prolongación de este corte hasta el antepaís indeformado sugiere un acortamiento de más del 60 por ciento, implicando un desplazamiento del Montsec de 56 km.

Palabras clave: Pirineo. Sierras Marginales. Alpino. Cabalgamiento. Corte compensado.

ABSTRACT

The frontal part of the South Central Pyrenees is formed by an imbricate fan thrust system, generally with a little internal deformation by folding. Three sectors are distinguished (Montsec, Sierras Marginales and the southern continental Tertiary units) bounded by the main thrusts which are called Montsec thrust, floor thrust of the Sierras Marginales and San Esteban de Litera thrust. The last one has followed the Eocene gypsum as a detachment level and emerges at the Barbastro-Balaguer anticline.

A balanced cross section shows a shortening of about 11 km between the Montsec thrust and the floor thrust of the Sierras Marginales. A balanced cross section between the Montsec thrust and a pinline located on the foreland implies a shortening of about 60% and 56 km displacement for the Montsec thrust sheet.

Key words: Pyrenees. Sierras Marginales. Alpine. Thrust. Balanced cross section.

INTRODUCCIÓN

El límite meridional de los cabalgamientos surpirenaicos en su zona central habitualmente se representa, en los mapas tectónicos, en las Sierras Marginales Catalanas; mientras que las estructuras observables en los materiales del Terciario continental de la Depresión del Ebro, se incluyen en el «antepaís plegado Sur» (Choukroune y Seguret, 1973; Julivert *et al.*, 1974).

La restitución de cortes de Sierras Marginales permite considerar al anticlinal de Barbastro-Balaguer como un elemento estructural del edificio pirenaico, y a su vez facilita una interpretación coherente de la estructura de la franja surpirenaica más meridional. Tras una descripción de los rasgos estructurales del «anticlinal» y de las «Sierras» comentaremos la realización y lectura de los cortes que se presentan.

ESTRUCTURA DEL ANTICLINAL DE BARBASTRO-BALAGUER

El anticlinal de Barbastro-Balaguer es una estructura de orientación WNW-ESE que se extiende desde las inmediaciones de Peraltilla (Huesca) hasta Ponts (Lérida), describiendo una forma suavemente arqueada, con la convexidad hacia el Sur, y bordea la zona de cabalgamientos surpirenaicos más meridionales. En la cartografía se representa como una franja de cerca de 150 km de longitud y tan sólo entre 1 y 5 km de anchura (fig. 1), que corresponde al núcleo de la estructura, formado por sedimentos evaporíticos con escasas intercalaciones de arcillas y calizas arcillosas, de edad Eoceno superior y Oligoceno basal.

Los conocimientos estratigráficos de la Depresión del Ebro ampliamente documentados por los datos de perforaciones y de geofísica (Quirantes, 1969; Riba, 1967; IGME, 1975 a, b, c; Riba *et al.*, 1983), muestran que los yesos del núcleo del anticlinal (yesos de Barbastro, Quirantes, 1969), equivalentes hacia el W a la Fm. salina de Cardona (Riba, 1967), se superponen a la formación margas de Igualada, del Eoceno marino (Ferrer *et al.*, 1968). En los flancos, sobre los yesos de Barbastro, se presentan las formaciones molásicas de Peraltilla, Sariñena y su equivalente lateral más oriental, las molasas de Solsona.

En el flanco S del anticlinal, las citadas formaciones molásicas van reduciendo suavemente su buzamiento hasta pasar a posición subhorizontal en una banda de escasos kilómetros, dejándose de apreciar las deformaciones pirenaicas. En el sector oriental se observan dos elementos que complican esta disposición (Fig. 1): por una parte, en las inmediaciones de Balaguer se observa una bifurcación del núcleo, con un ramal que se extiende a lo largo de unos 25 km, casi paralelamente al principal, hasta amortiguarse en las inmediaciones de Agramunt. Por otra, inmediatamente al S de Ponts, cerca de su amortiguamiento por el E, el anticlinal de Barbastro-Balaguer, se conecta con el de Sanahuja y los pliegues de la Cuenca Potásica Catalana (fig. 1).

El flanco N reviste mayor complejidad y por ello, para facilitar la descripción, distinguiremos cinco sectores con peculiaridades locales:

Sector de Barbastro

Comprende desde la terminación occidental hasta un poco al E del curso del río Cinca. En él la observación está limitada por la presencia de los conglomerados discordantes, datados como aquitanienses en las «capas de Santa Cilia» (Crusafont *et al.*, 1966) y que se consideran equivalentes a los conglomerados de Graus (IGME, 1972). El contacto entre los yesos del núcleo y los materiales detríticos de la Fm. Peraltilla está cubierto por dichos conglomerados. Sin embargo, en el monasterio de El Pueyo, afloran dos pequeños elementos de cobertera deslizada sobre el techo de los yesos, en los que se reconoce la reducida serie sedimentaria correspondiente a las láminas cabalgantes (*thrust sheets*) más meridionales de las Sierras Marginales (Cretácico terminal, facies Garum, calizas ilderdienses). El contacto de los yesos y estas láminas cabalgantes aparece muy verticalizado en los escasos puntos en que puede observarse.

Sector de Calasanz

Al E del río Cinca, en el meridiano de Calasanz, los conglomerados discordantes del grupo de Graus quedan interrumpidos a lo largo de unos 10 km y puede observarse la compleja estructura del flanco N en este sector. El rasgo más destacado es la existencia de dos ramales que arrancan del núcleo yesífero en dirección NE y E, amortiguándose bajo la formación Peraltilla.

Sector de Baells

Entre Calasanz y Camporrells, de nuevo los conglomerados discordantes del grupo de Graus impiden la observación del flanco N del anticlinal de yesos. Estos conglomerados se presentan horizontales o con un suave buzamiento hacia el S, aunque localmente, en el contacto con las láminas cabalgantes de cobertera, pueden estar fuertemente verticalizados.

Sector de Camporrells-Artesa

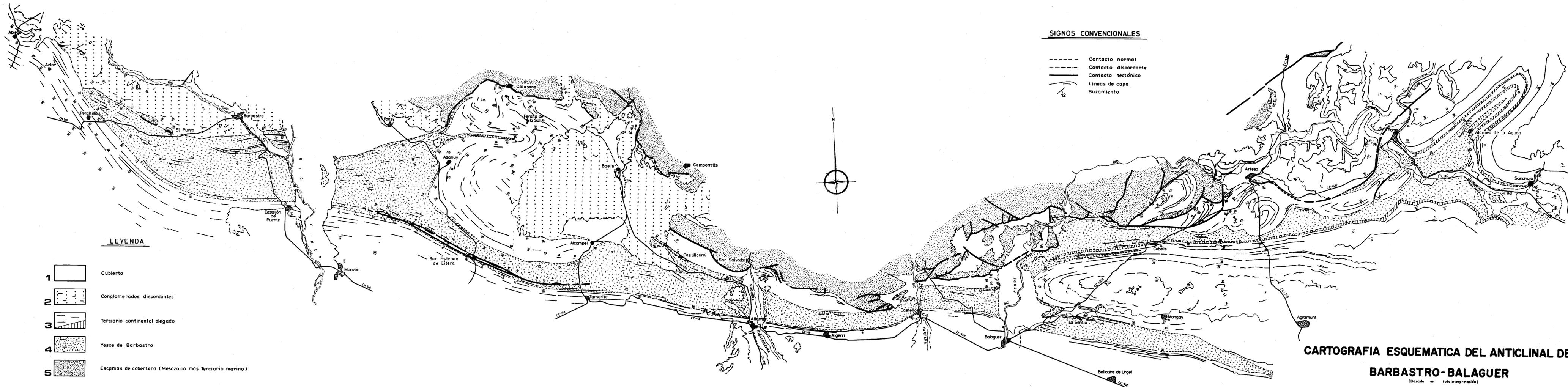
Comprendido entre el meridiano de Camporrells, donde finaliza el afloramiento de los conglomerados discordantes de Graus, y el meridiano de Artesa, es el sector donde culmina la convexidad del anticlinal de yesos, precisamente por tratarse de la zona en la que el frente de las escamas de la cobertera surpirenaica está más avanzado hacia el S. El afloramiento de la serie detrítica equivalente a la Fm. Peraltilla queda muy reducido en algunas zonas del flanco N y llegan a superponerse las escamas de cobertera por encima de los yesos del núcleo del anticlinal.

En el extremo occidental del sector, entre los yesos y la serie detrítica, se observa un afloramiento de unos 2 km de longitud y un espesor de un centenar escaso de metros de materiales calcáreos en el que se reconoce el mesozoico de las Sierras sin que puedan pre-

Figura 1.- Cartografía esquemática del anticlinal de Barbastro-Balaguer.

Figure 1.- Simplified geological map of the Barbastro-Balaguer anticline. Barbastro gypsums crop out in the anticline core. This anticline forms an open arc of N090-N110 strike and borders the Sierras Marginales southern front. It represents the southernmost Pyrenean deformation.

1: non exposed; 2: unconformable conglomerates; 3: folded continental Tertiary; 4: Barbastro gypsums; 5: cover thrust sheets (marine Tertiary and Mesozoic).



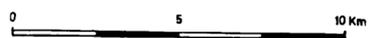
SIGNOS CONVENCIONALES

- Contacto normal
- - - Contacto discordante
- Contacto tectónico
- Líneas de capa
- 12 Buzamiento

LEYENDA

- 1 Cubierto
- 2 Conglomerados discordantes
- 3 Terciario continental plegado
- 4 Yesos de Barbastro
- 5 Escamas de cobertura (Mesozoico más Terciario marino)

CARTOGRAFIA ESQUEMATICA DEL ANTICLINAL DE BARBASTRO-BALAGUER
(Basado en fotointerpretación)



cisarse secuencia estratigráfica ni estructura definida (Castillonroi se asienta sobre estas calizas).

En la cartografía (fig. 1) se observa cómo el núcleo anticlinal traza dos sigmoides, una a la altura del río Farfaña y otra en el Segre. Esta segunda conecta con el ramal que se extiende desde las inmediaciones de Balaguer hacia Agramunt. Alineados con estas dos sigmoides se presentan cabalgamientos de dirección NE-SW en el frente de las Sierras (fig. 2).

Sector de Artesa-Ponts

El tramo de mayor complejidad del anticlinal se extiende desde Artesa hasta más de E de Ponts, acabando en el perianticlinal de Vilanova de la Aguda (IGME, 1975). El contacto entre los yesos y la serie detrítica suprayacente (fig. 1) presenta un trazo cartográfico ondulado poniendo en evidencia la existencia de pliegues transversales al anticlinal. Ello está relacionado con los cabalgamientos de la cobertera al W de Artesa (fig. 2) que han sufrido un desplazamiento hacia el E dando lugar a cabalgamientos y pliegues que interfieren con los E-W determinando pequeñas cubetas. Entre Artesa y Ponts existe una fractura que limita por el Norte esta franja de pliegues complejos. Se trata de un cabalgamiento, asociado al cual aflora

un pequeño retazo del Mesozoico subyacente en las proximidades de Artesa y que en el resto de su trazado tiene apariencia de falla normal (bloque N hundido), disposición atribuible a un rejuego provocado por la migración de los yesos hacia el núcleo del anticlinal.

RASGOS ESTRUCTURALES DEL FRENTE MERIDIONAL DE LAS SIERRAS

Entre los ríos Cinca y Segre, y entre el anticlinal de Barbastro-Balaguer y la Sierra del Montsec (o su prolongación por el W bajo los conglomerados de Graus) se extiende una franja formada por un mosaico de pequeños elementos de cobertera cuyo rasgo estructural más destacado es la presencia de sistemas imbricados de cabalgamientos (*imbricate fan thrust system*) de vergencia dominante hacia el S. En su conjunto, esta franja describe una forma arqueada similar a la observada en el anticlinal de Barbastro-Balaguer y las direcciones de las estructuras (pliegues y cabalgamientos) manifiestan las correspondientes variaciones de orientación, excepción hecha de diversas complicaciones de detalle (fig. 2).

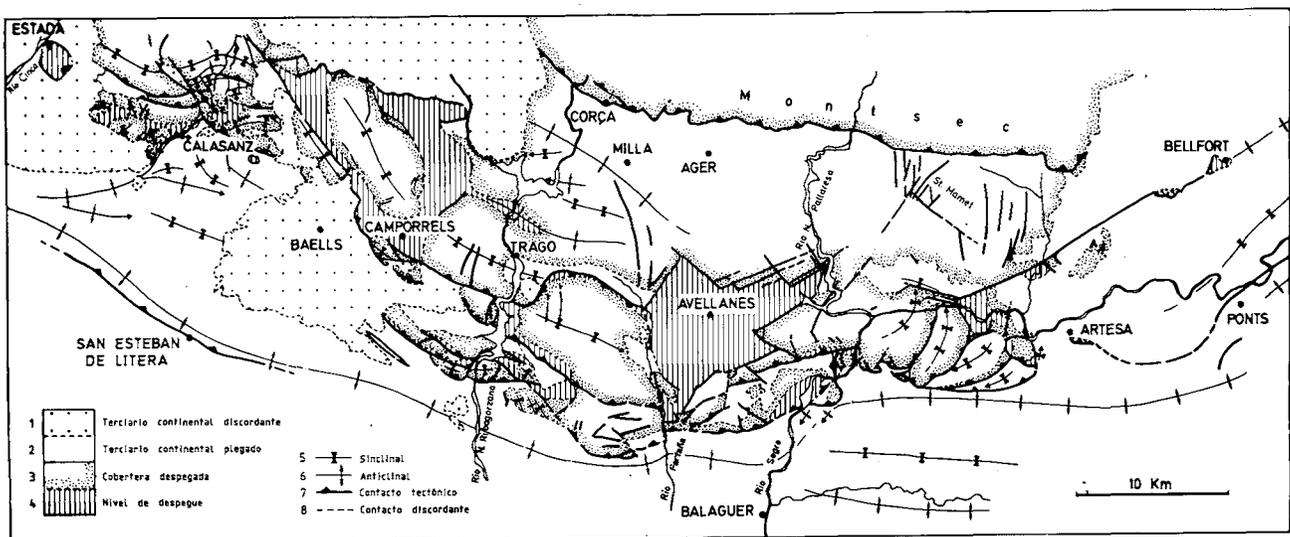


Figura 2.- Esquema tectónico de las Sierras Marginales.

Figure 2.- Tectonic sketch of the Sierras Marginales thrust sheet. The Sierras Marginales consists of several cover slices bounded by an imbricate thrust system which thrusts are southwards directed.

1: unconformable continental Tertiary; 2: folded continental Tertiary; 3: detached cover rocks; 4: detachment level; 5: syncline; 6: anticline; 7: fault; 8: unconformity.

Se aprecia una acentuada tendencia a la reducción de la extensión de los elementos de cobertera hacia el S concomitante con la reducción de la serie estratigráfica de esta cobertera correspondiente a posiciones marginales de la cuenca sedimentaria del Cretácico superior y del Eoceno inferior.

Existe una marcada correspondencia entre los sectores considerados en la descripción del anticlinal de Barbastro-Balaguer y las peculiaridades estructurales de las Sierras Marginales. Por ello vamos a considerar las mismas divisiones:

Sector de Barbastro

Entre los relieves del extremo oriental de las Sierras Marginales Aragonesas propiamente dichas, al W del río Cinca, y el núcleo del anticlinal de yeso no hay más afloramientos de la cobertera representativa de las Sierras Marginales que los del monasterio de El Pueyo, antes citados. Los conglomerados de Graus se adosan a los relieves de las Sierras en el sector de Alquézar (20 km al NW de Estada) y sólo se interrumpen en las inmediaciones del núcleo yesífero y en los diapiros tardíos de materiales triásicos (Naval, el Grado, Estada). Estas escasas observaciones hacen poner en duda la continuidad de las estructuras imbricadas de cobertera observadas al E del río Cinca y por ello la interpretación de los afloramientos de El Pueyo resulta problemática.

Sector de Calasanz

La cartografía muestra la presencia de un haz de pliegues y cabalgamientos de vergencia S cuyos trazos dibujan, precisamente a la altura de Calasanz, una sigmoide (Martínez Peña, 1982) determinada por una franja de orientación ENE-WSW entre estructuras de dirección predominante ESE-WNW (fig. 2).

Sector de Baells

Inmediatamente al N del afloramiento de conglomerados de Baells se localiza una unidad de cobertera de estructura sinclinal rodeada por una banda de Triásico excepcionalmente extensa. En los contactos del Triásico con los conglomerados se aprecia el carácter sintectónico de éstos, atestiguando deformaciones tardías (Martínez Peña y Pocovi, 1984).

Sector de Camporrells-Artesa

Representa las Sierras Marginales Catalanas en sentido estricto y contiene la mayor variedad de estructuras del dominio aquí considerado.

Desde el Montsec, que constituye el límite N, hacia el S se distingue una gran unidad de cobertera plegada y sin discontinuidades que comprende: sinclinal de Ager, anticlinal de Millà, sinclinal de Blancafort, anticlinal de Canelles y sinclinal de Tragó (fig. 2 y 5, corte II) en su mitad occidental, mientras en la oriental, al S del sinclinal de Ager se sitúa el domo de St. Mamet.

Al S de esta unidad se encuentra una franja más compleja y se aprecian notables diferencias en los sectores separados por el río Farfaña.

a) De Camporrells al río Farfaña la dirección de las estructuras es aproximadamente WNW-ESE. Las escamas imbricadas tienen vergencia preferentemente hacia el S, aunque en las inmediaciones del río Noguera Ribagorzana se dan ejemplos espectaculares de cabalgamientos vergentes al N. La cobertera de estas escamas se caracteriza por una reducida serie de sedimentos mesozoicos y terciarios (300-1.500 m de potencia) a la que sigue en paraconformidad un espesor variable de Terciario continental. En su extremo occidental las escamas están fosilizadas por los depósitos conglomeráticos del Grupo de Graus.

b) Al E del río Farfaña se observa un gran afloramiento de Triásico limitado por fallas y libre de cobertera que constituye el llamado diapiro de Avellanes. A continuación, hasta el E se encuentran un conjunto de elementos de cobertera de indudable continuidad estratigráfica con la del domo de St. Mamet, con ejes de pliegues arqueados que llegan a orientarse en dirección N-S, y cabalgamientos vergentes al E. Esta orientación peculiar de los ejes de los pliegues se debe al arrastre producido por el desplazamiento sinistral de la falla transcurrente que los limita por el N, desplazamiento que a su vez es consecuencia del de la falla de Alòs-Montargull, siendo ésta última la expresión más importante de la «Falla del Segre» que se manifiesta en la zona de las Sierras Marginales.

Al SE del diapiro de Avellanes se encuentra un sector de escamas imbricadas de espesor muy reducido (300-500 m), vergentes al S, con frentes de cabalgamiento de dirección E-W, que en su extremo oriental pasan a NE-SW, con características de rampa oblicua (fig. 2 y 3). El estudio detallado de las series estratigráficas permite establecer, en función de potencias y

facies, las relaciones entre cada una de las escamas. De este modo se distinguen tres unidades de cabalgamiento imbricadas (fig. 4), que, de N a S, son: unidad de Montroig (más de 1.000 m de serie del Triás al Eoceno), unidad de Monteró y Sant Salvador de Camarasa (300 m de serie del Cretácico terminal discordante sobre Keuper al Ilerdiense inferior) y unidad de Sant Llorenç de Montgai (300 m de serie del Biarritzense sobre una película de Jurásico y Keuper) (Caus, 1974; Rosell y Robles, 1975). Destaca el hecho

de que en el extremo oriental, el cabalgamiento de la unidad de Sant Llorenç de Montgai corta al de la Unidad de Monteró y Sant Salvador de Camarasa.

Sector de Artesa-Ponts

Está casi totalmente constituido por el Terciario detrítico (molasses de Solsona) que fosiliza el frente del Montsec y que sin embargo en posiciones más meridionales está integrado en la estructura. El diapiro de Belfort (IGME, 1975) y el afloramiento de Montargull perforan estos depósitos detríticos y están alineados con una fractura en dirección NE-SW que se prolonga hasta el extremo oriental de las Sierras Marginales.

RECONSTRUCCIÓN DE LA GEOMETRIA

Los trabajos sobre la estructura de los mantos de corrimiento (*thrust sheets*) de la cobertera de la vertiente surpirenaica realizados en la banda que bordea la zona paleozoica de la Cadena, son muy numerosos (Seguret y Vergely, 1969; Seguret, 1970; Cámara y Klimowitz, 1985; Muñoz *et al.*, 1986). Por el contrario, la franja meridional es menos conocida (hay algunos trabajos sobre el sector más occidental, Nichols, 1984; Vann *et al.*, 1986) pese a presentar el extraordinario interés de contener el límite S del dominio de las estructuras pirenaicas. Por esta razón, pese a su escaso volumen, el conocimiento preciso de esta región es fundamental para cualquier reconstrucción palinspástica de la cobertera meridional.

Aspectos metodológicos

Tras varios trabajos referidos a esta región (Pocoví, 1978, 1979; Martínez Peña, 1982; Martínez Peña y Pocoví, 1984, y varias memorias regionales inéditas), nos hemos propuesto aplicar las técnicas geométricas simples de realización de cortes compensados (*balanced cross section*) según el método de la longitud de las líneas (Dahlstrom, 1969, Hossack, 1979), tanto con la finalidad de poner a prueba los resultados anteriores como para ofrecer unos resultados orientativos acerca de la magnitud del desplazamiento de las láminas cabalgantes de esta zona.

Se han realizado varios cortes geológicos (fig. 5) a partir de cartografías detalladas, columnas estratigrá-

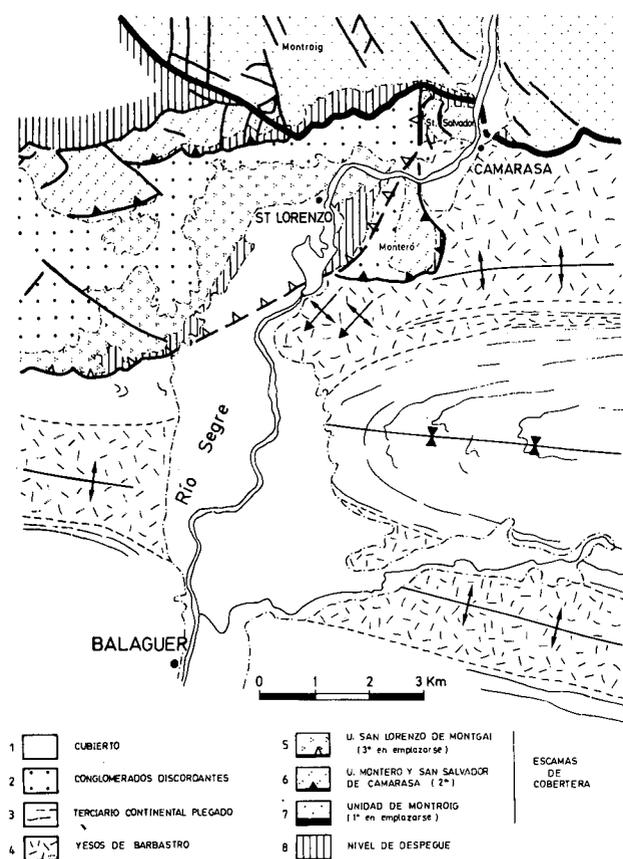


Figura 3.- Esquema tectónico de la zona de rampas oblicuas del sector de Camarasa (Sierras Marginales orientales).

Figure 3.- Tectonic sketch of the Camarasa oblique ramps area (eastern Sierras Marginales). Three imbricate thrust sheets are represented. Monteró and Sant Salvador de Camarasa thrusts are cut by the Sant Llorenç de Montgai thrust.

1: non exposed; 2: unconformable conglomerates; 3: folded continental Tertiary; 4: Barbastro gypsums; 5: Sant Llorenç de Montgai thrust sheet (the third to be placed); 6: Monteró and Sant Salvador de Camarasa thrust sheets (the second to be placed); 7: Montroig thrust sheet (the first to be placed); B: detachment level.

ficas en cada una de las unidades estructurales, medidas de la orientación de las estructuras y cortes parciales. Queda de esta manera reflejada la estructura de la zona de Sierras Marginales que consiste en láminas cabalgantes de cobertera, imbricadas hacia el S y con deformación interna por pliegues concéntricos. Para la realización del corte restituído (*restored cross section*) se ha considerado que el valor de la denudación sufrida por los bloques superiores (*hanging wall*) de los cabalgamientos es el mínimo necesario para dar continuidad a las estructuras. Se ha elegido el corte II para efectuar la restitución debido a que su localización coincide con la dirección de transporte, considerando como tal una dirección perpendicular a la orientación predominante de las estructuras (cabalgamientos y ejes de pliegues). Las líneas de referencia (*pinline*) se han situado sobre los accidentes principales que delimitan la franja de las Sierras Marginales: el cabalgamiento del Montsec al N y el cabalgamiento inferior (*floor thrust*) de las Sierras Marginales, y el nivel estratigráfico de referencia en el techo del Garum. Fuera de los límites indicados las observaciones estructurales son escasas por lo que las tentativas de restitución se reducen al planteamiento de las posibles soluciones geométricas. Se ha prolongado el corte desde la cuenca de Tremp hasta muy adentro de la cuenca de antepaís (*foreland*) meridional (Depresión del Ebro) para tomar como referencia orientativa los sondeos de Monesma y Fraga, respectivamente. Para la tentativa de restitución correspondiente a las estructuras situadas en el bloque inferior (*footwall*) del cabalgamiento inferior de las Sierras Marginales, se ha situado una línea de referencia en el lugar en que se horizontalizan las capas de la Depresión del Ebro y como nivel estratigráfico de referencia, el techo de los yesos de Barbastro-Balaguer.

Aspectos a tener en cuenta en la restitución de la estructura y soluciones gráficas

La realización del corte compensado y su restitución nos llevan a considerar una serie de aspectos propios de la estructura concreta de esta región que a continuación exponemos:

— Acuñaamiento general de la serie hacia el S: Es un hecho conocido desde antiguo (Vidal, 1899) que la restitución de los cabalgamientos constata y evalúa (fig. 5). La serie de la cobertera sufre una reducción general de espesor de N a S en la que intervienen tres aspectos: reducción de espesor de las unidades estratigráficas, retraso de la llegada de la transgresión del

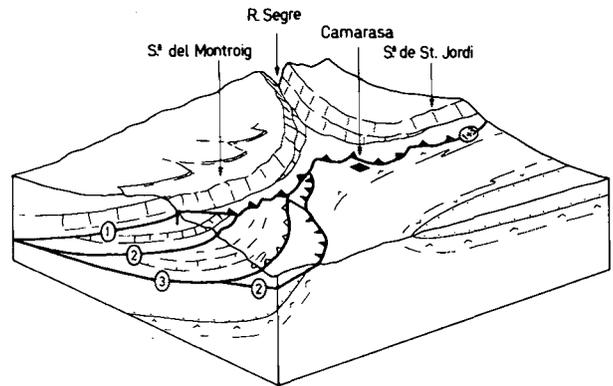


Figura 4.- Bloque diagrama idealizado (sin orientación ni escala) de la estructura de los alrededores de Camarasa (sector correspondiente aproximadamente al mapa de la figura 3). 1) cabalgamiento del Montroig; 2) cabalgamiento de Monteró-Sant Salvador; 3) cabalgamiento de Sant Llorenç de Montgai.

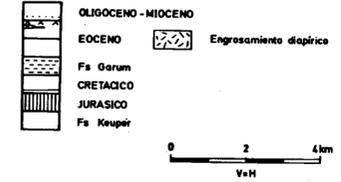
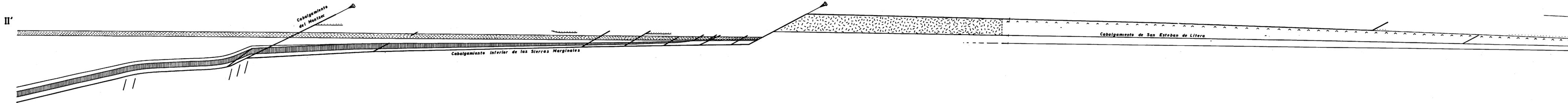
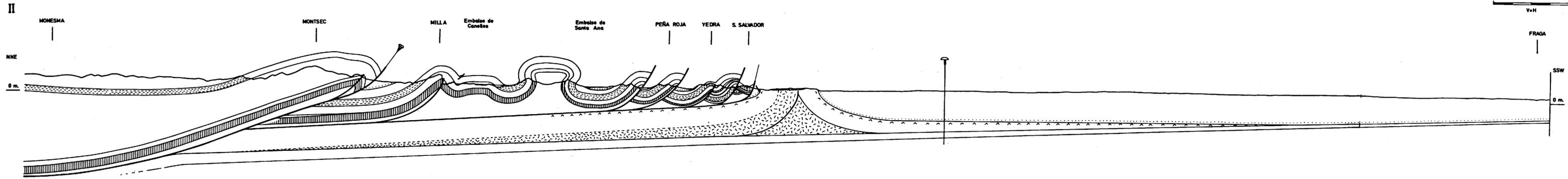
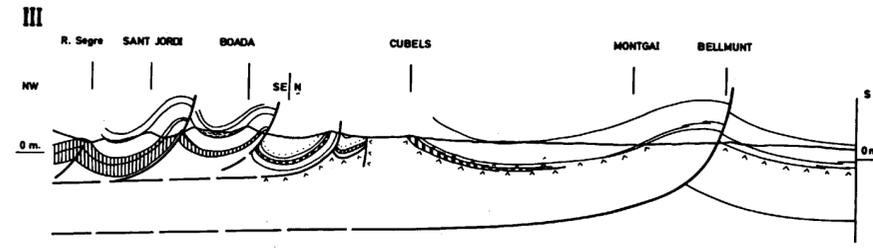
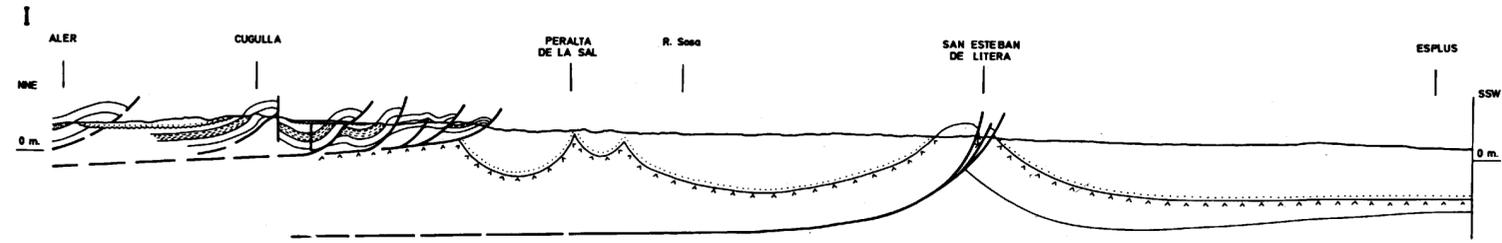
Figure 4.- Idealized structural diagram block (without scale and orientation) of the Camarasa sector corresponding to the area represented in the tectonic sketch of the fig. 3. 1) Montroig thrust; 2) Monteró-San Salvador thrust; 3) Sant Llorenç de Montgai thrust.

Cretácico superior e interrupción precoz de la serie terciaria marina hacia el techo. En la restitución no nos hemos planteado si este acuñaamiento obedece a sucesivos escalones. Entendemos que la regularidad con que éste se produce en las Sierras Marginales se justifica como una tendencia continua de este margen de cuenca.

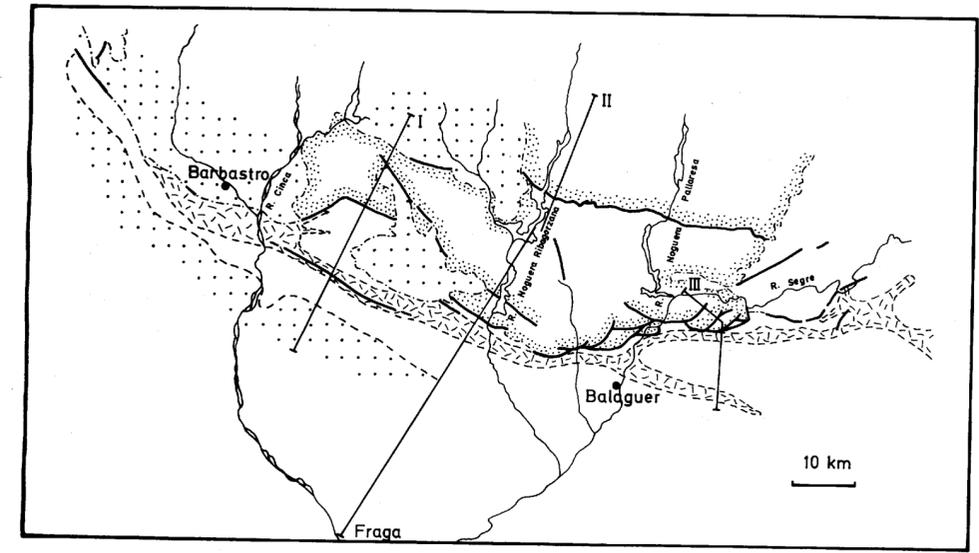
— Problema de la continuidad estratigráfica a ambos lados del cabalgamiento del Montsec: Si se mantiene la misma tendencia de acuñaamiento observada en las Sierras Marginales, teniendo en cuenta el espesor total de la serie en la unidad del Montsec, la restitución del cabalgamiento del Montsec implica un desplazamiento de gran magnitud. Por otra parte, si se consideran tan sólo los elementos de serie anteriores al Cretácico superior se puede mantener la tendencia al acuñaamiento considerando un desplazamiento muy de acuerdo con la geometría observada en lo que concierne a proporcionalidad entre magnitud de los ca-

Figura 5.- Cortes geológicos de las Sierras surpirenaicas (sector central) y tentativa de restitución de uno de ellos (corte II-II').

Figure 5.- Cross-sections of the southpyrenean Sierras (central area). One of them has been restored (II-II' section). Balancing has been based on the detailed geometry of the Sierras. The thickening of the gypsum bed in the Barbastro-Balaguer anticline has been interpreted as due to diapirism.



CORTES GEOLOGICOS DE LAS SIERRAS SURPIRENAICAS (SECTOR CENTRAL)



balgamientos y espesor de la cobertera. En esta situación requiere justificación el brusco aumento de espesor y el cambio de facies del techo del Cretácico superior a la altura de la Sierra del Montsec: entre el anticlinal de Millà (fig. 5) y la Sierra del Montsec, se pasa respectivamente de 4.000 m a casi 1.500 m de espesor del tramo de serie comprendido entre el Santoniense y las facies Garum. A su vez, en el anticlinal de Millà, se observa en el tránsito a las facies continentales una sucesión de calizas bioclásticas, calizas lacustres y arcillas con intercalaciones de niveles detríticos groseros, mientras que en la sierra del Montsec, este tránsito se manifiesta por el paso de las calizas bioclásticas a un notable espesor de facies detríticas (Arenica de Arén). Por consiguiente, al N de lo que ahora es el sinclinal de Ager, el corte del Montsec y los sondeos situados más al N (Monesma, Cajigar) ponen de manifiesto que el aumento de espesor de la serie, especialmente en lo que concierne al Cretácico superior, es relativamente brusco, constituyendo el tránsito de la plataforma carbonatada a depósitos más profundos (Simó, 1985; Garrido, 1973; Souquet, 1967...).

— Secuencia general de los cabalgamientos: Desde el Montsec hasta el frente de las unidades de cobertera (fig. 2) la geometría observada obedece en sus rasgos más fundamentales a una secuencia de bloque inferior (*piggy back thrusting sequence*), siendo muy manifiesto en la cargografía que los depósitos molásicos que fosilizan los cabalgamientos más septentrionales están afectados por accidentes más meridionales. La deformación en el interior de las unidades se manifiesta casi exclusivamente por la existencia de pliegues concéntricos (Millà, Canelles...) que afectan a toda la serie, solidariamente.

En este dispositivo se destaca la existencia de un horizonte de despegue único localizado en las facies evaporíticas del Keuper. Precisamente la presencia de este horizonte evaporítico da lugar a formación de entumescencias diapíricas precoces en relación a los cabalgamientos que justifican la estructura interna de sinclinal que presentan las láminas cabalgantes.

Dentro de este dispositivo general se pueden citar varias situaciones que lo complican:

Las ramas oblicuas

La estructura de los extremos de la franja meridional responde a una geometría de rampas oblicuas. En estas rampas no se observa la misma secuencia de bloque inferior que existe en las frontales. En el extremo oriental (fig. 3) se aprecia que el frente de la unidad

más meridional (Sant Llorenç de Montgai), al pasar a rampa oblicua, junto al cauce del río Segre, cabalga las unidades de Monteró y Sant Salvador de Camarasa deformando su plano de cabalgamiento, y se entronca con el cabalgamiento del Montroig. Un corte NW-SE (perpendicular a las rampas oblicuas) pone de manifiesto que las láminas cabalgantes del Montroig y de Monteró - Sant Salvador de Camarasa se apilan en secuencia de bloque inferior (*overstep thrusting sequence*) tras el cabalgamiento de Sant Llorenç de Montgai (marcado con el n° 3 en la fig. 4), actúa fuera de secuencia respecto al Cabalgamiento de Monteró - Sant Salvador (n° 2 en la fig. 4). El cabalgamiento de Montroig (N° 1 en la fig. 4) también tiene entonces un movimiento fuera de secuencia e impide observar si existió entroncamiento con el cabalgamiento n° 2 (fig. 4).

Secuencia anómala de Sant Salvador

En la orilla derecha del río Noguera-Ribagorzana, inmediatamente al N del anticlinal de Barbastro-Balaguer, se encuentra la colina de Sant Salvador (Figs. 1 y 5), constituida por una diminuta unidad de cobertera en la que se identifica una serie estratigráfica asimilable a la observada en la loma de Yedra, mientras que entre ambas aflora una unidad de caracteres estratigráficos más meridionales. Esta situación se ha representado en el corte II (fig. 5) como debida a un cabalgamiento fuera de secuencia (*out of sequence thrust*) que corta las láminas cabalgantes previamente apiladas.

Cabalgamientos de vergencia N.

En la margen izquierda del río Noguera Ribagorzana se presentan varios cabalgamientos de vergencia N (fig. 2) que ya fueron descritos por Misch en 1934. Estos se localizan sobre una franja de dirección NE-SW sobre la que también se alinean las sigmoides de los pliegues al S de Millà. Este dispositivo se considera resultante de la actuación de una fractura transcurrente del substrato simultánea al deslizamiento de la cobertera (Pocoví, 1979).

— Las superficies principales de cabalgamiento: En el sistema imbricado de cabalgamientos de las Sierras Marginales que acabamos de describir distinguimos dos categorías de cabalgamientos atendiendo a la extensión de las unidades de cobertera que delimitan: Una categoría de cabalgamientos mayores que comprende el cabalgamiento del Montsec, el cabalgamiento inferior de las Sierras Marginales y el cabalgamiento

to de San Esteban de Litera, y dentro de cada una de las unidades de cobertera delimitadas por estos cabalgamientos mayores se presentan otros accidentes subordinados, con lo que los rasgos estructurales más destacados se pueden sistematizar como sigue:

Montsec

A lo largo de los 50 km de afloramiento continuo de su frente, las complicaciones de detalle son diversas y típicamente responden a lenticulas o lentejas cabalgantes (*horses*) en las que están representados horizontes cualesquiera del bloque inferior. En la parte occidental se destaca el anticlinal de Corçà, inmediatamente al N del único tramo conservado de la rampa del bloque superior del cabalgamiento del Montsec. El anticlinal de Corçà corresponde a la expresión en superficie de un cabalgamiento ciego (*blind thrust*) que se amortigua en los primeros niveles del Cretácico superior.

Sierras Marginales

En su mitad meridional, la estructura obedece a un sistema imbricado frontal de cabalgamientos (*leading imbricate fan*, Boyer y Elliot, 1982) que entroncan en profundidad con el que denominamos *cabalgamiento inferior de las Sierras*. Este sistema presenta situaciones anómalas ya descritas.

La escasa potencia de la serie de cobertera de las unidades más meridionales es la principal causa de su limitada extensión lateral.

Entre el cabalgamiento del Montsec y las escamas meridionales se encuentra la zona plegada ya descrita. La representación de estas estructuras (fig. 5, corte II) muestra un engrosamiento del conjunto de la unidad cabalgante atribuible a la acumulación de materiales evaporíticos del Triásico (solución adoptada en el corte), aunque no es descartable la existencia de duplicaciones (*duplex*) en los niveles infrayacentes.

En el valle del Noguera Ribagorzana, la cluse del anticlinal de Millà (les Conclues) ofrece un corte en el que se aprecia la estructura de cabalgamiento ciego, amortiguado en la base del Cretácico.

Bajo las estructuras descritas el cabalgamiento inferior de las Sierras se prolonga hasta entroncarse con el cabalgamiento del Montsec.

Terciario continental despegado

La franja comprendida entre el núcleo del anticli-

nal de yesos de Barbastro-Balaguer y el cabalgamiento inferior de las Sierras está constituido por sedimentos del Terciario continental en los que se distinguen (fig. 1 y 5): a) los niveles plegados que se superponen a los yesos de Barbastro sin discontinuidad estratigráfica y carentes de facies proximales, y b) restos de depósitos adosados a los frentes de cabalgamiento y discordantes sobre los anteriores, siempre en facies proximales. En el flanco S del anticlinal de Barbastro-Balaguer, los primeros pasan rápidamente a posición horizontal. Esta geometría resulta del despegue a nivel de la base del tramo de yesos de Barbastro y deslizamiento hacia el S que se amortigua dentro del núcleo del anticlinal de Barbastro-Balaguer (Cabalgamiento de San Esteban de Litera).

Las construcciones geométricas aplicadas a la realización del corte compensado apoyan estos hechos, destacando los siguientes aspectos:

a) Al reconstruir la superficie de referencia (situada en el techo de los yesos) a partir de los buzamientos, hay una manifiesta discontinuidad entre los segmentos de arco trazados desde cada uno de los flancos del anticlinal de Barbastro-Balaguer, sugiriendo superposición.

b) La presencia de una estrecha franja de arenisca aislada entre los yesos del núcleo en las inmediaciones de San Esteban de Litera (Pardo y Villena, 1979; Martínez Peña, 1982) se explica satisfactoriamente como imbricación en el frente emergente.

c) Los esquemas de compensación del área en los cortes del anticlinal llevan a situar el horizonte de despegue en la base de los yesos de Barbastro, considerando el espesor de estos yesos que se conoce por datos geofísicos y sondeos (Quirantes, 1969; IGME, 1975; Riba *et al.* 1983). Por otra parte, se conoce por geofísica que por debajo de los yesos se puede considerar que los materiales marinos del Eoceno permanecen horizontales (IGME, 1975).

Teniendo en cuenta estos aspectos, se entiende que el anticlinal de yesos delimita la zona de cobertera cabalgante y representa el frente del cabalgamiento más meridional de la zona surpirenaica. En profundidad, el plano de cabalgamiento se sitúa al techo del Terciario marino, según un extenso rellano (*flat*), hasta entroncarse con el cabalgamiento del Montsec-Sierras Marginales.

Por consiguiente, entendemos que la zona correspondiente al «antepaís plegado sur» situada frente a la Unidad Surpirenaica Central debe incluirse en el mismo esquema estructural que esta última sin más

salvedad que la localización del nivel de despegue al techo del Terciario marino.

En parte de su extensión, la superficie de cabalgamiento emerge y se identifica en los rasgos cartográficos (San Esteban de Litera), mientras en otras posiciones queda enmascarada por otras deformaciones de los yesos y posiblemente en buena parte de su extensión (especialmente en los extremos) es un cabalgamiento ciego.

El corte compensado (fig. 5 II) refleja una pendiente uniforme y continuada hacia el N del substrato del Terciario de la Depresión, controlada por los sondeos y el espesor del Terciario detrítico (Riba *et al.*, 1983). Al prolongar esta pendiente bajo las Sierras Marginales obtenemos un espesor superior al que se puede atribuir a los yesos de Barbastro-Balaguer incluso considerando un aumento gradual (sedimentario) de su espesor hacia el N.

Caben varias soluciones para la geometría resultante: 1) imbricaciones a nivel de los yesos, 2) repetición de una estructura de láminas de cabalgamientos similares a las de las Sierras Marginales por debajo de los mismos, 3) engrosamiento diapírico...

En la tentativa de restitución de esta parte del corte, se ha optado por la tercera proposición y se ha compensado el área atribuida a dicho engrosamiento diapírico.

CONCLUSIONES

La estructura de la zona frontal de la región central de los mantos de corrimiento surpirenaicos está determinada por un edificio de láminas cabalgantes en el que se pueden sistematizar dos categorías de cabalgamientos.

En la categoría superior se consideran las unidades delimitadas por los tres cabalgamientos de mayor relevancia, que son: a) cabalgamiento del Montsec, b) cabalgamiento inferior de las Sierras Marginales, y c) cabalgamiento de San Esteban de Litera.

Dentro de cada una de estas unidades se localizan los cabalgamientos de categoría inferior, que en la primera y la tercera de las unidades citadas anteriormente sólo se detectan como cabalgamientos subordinados en el frente, en cambio en la segunda, determinan un sistema imbricado frontal (*leading imbricate fan*).

El amortiguamiento final de los desplazamientos de la cobertera surpirenaica se realiza en el núcleo del anticlinal de Barbastro-Balaguer que tiene estructura de cabalgamiento con el frente emergente al menos en el sector de San Esteban de Litera.

Entre el *cabalgamiento del Montsec* y el frente del *cabalgamiento inferior de las Sierras Marginales*, la evaluación del acortamiento basada en la geometría propuesta para el corte II (fig. 5), supone algo menos de 11 km es decir, un 32 por ciento, aproximadamente.

En la tentativa de reconstrucción del sector afectado por el cabalgamiento de San Esteban de Litera, el acortamiento entre el cabalgamiento del Montsec y la línea de referencia situada en el Terciario horizontal del antepaís, es del orden del 66 por ciento, lo que supondría un desplazamiento del Montsec de 56 km.

BIBLIOGRAFÍA

- BOYER, S.E. y ELLIOT, D., 1982: Thrust systems. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 66: 1196-1230.
- CAMARA, P. y KLIMOWITZ, J., 1985: Interpretación geodinámica de la vertiente centro-occidental surpirenaica. *Estudios geol.*, 41: 391-404.
- CAUS, E., 1974: Bioestratigrafía del Eoceno medio y superior del Prepirineo catalán (y de la zona de tránsito entre esta unidad y la Cordillera Prelitoral Catalana). *Revista Española de Micropaleontología VII*. (2): 297-316.
- CHOUKROUNE, P. y SEURET, M., 1973: Presentation d'une carte structurale des Pyrénées. *Reunion Ann. Sciences de la Terre*. París, 133.
- CRUSAFONT, M., RIBA, O. y VILLENA, J., 1966: Nota preliminar sobre un nuevo yacimiento de vertebrados aquitaniense en Santa Cilia (Río Formiga; provincia de Huesca) y sus consecuencias geológicas. *Notas y Comuns. Inst. Geol. y Minero de España*, 83: 7-14.
- DAHLSTROM, C.D.A., 1969: Balanced cross sections. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 6: 743-757.
- FERRER, J., ROSELL, Y. y REGUANT, S., 1968: Síntesis litoestratigráfica del Paleógeno del borde oriental de la Depresión del Ebro. *Acta Geol. Hispánica*, III: 1-4.
- GARRIDO-MEGÍAS, A., 1973: *Estudio geológico y relación entre tectónica y sedimentación del Secundario y Terciario de la vertiente meridional pirenaica en su zona central (Provincias de Huesca y Lérida)*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 395 p.
- HOSSACK, J.R., 1979: The use of balanced cross-sections in the calculation of orogenic contraction: A review. *J. Geol. Soc. London*. 136: 705-711.
- IGME, 1975 a: Mapa geológico de España. Escala 1:50.000, 362: Calaf. Madrid, Serv. Publ. Ministerio Industria, 59 p., 1 maop. pleg.

- IGME, 1975 b: Mapa geológico de España. Escala 1:50.000, 329: Pons. Madrid, Serv. Publ. Ministerio Industria, 47 p., 1 mapa pleg.
- IGME, 1975 c: Mapa geológico de España. Escala 1:50.000, 330: Cardona. Madrid, Serv. Publ. Ministerio Industria, 58 p., 1 mapa pleg.
- JULIVERT, M., FONTBOTÉ, J.M., RIBEIRO, A. y CONDE, L., 1974: Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares. Escala 1: 1.000.000. *Instituto Geológico y Minero de España*. Serv. Publ. Ministerio Industria.
- MARTÍNEZ PEÑA, M.B., 1982: Influencia del substrato en la estructura de la cobertera deslizada de las Sierras Marginales del Prepirineo de Huesca. *Acta Geol. Hispánica*, 17: 235-240.
- MARTÍNEZ PEÑA, M.B. y POCOVÍ JUAN, A., 1984: Significado tectónico del peculiar relieve del sinclinal de Estopiñán (Prepirineo de Huesca). *I Congreso Español de Geología*, III: 199-206.
- MISCH, P., 1934-48: La estructura tectónica de la región central de los Pirineos meridionales. (Traducción de J.G. Llarena, Título original «Der Bau der mittleren Südpynäen». Berlín, 1934). *Publ. Extranj. Geol. España*. Madrid, C.S.I.C. IV: 3-180.
- MUÑOZ, J.A., MARTÍNEZ, A. y VERGÉS, J., 1986: Thrust sequences in the eastern Spanish Pyrenees. *Journal of Structural Geology*, 8: 399-405.
- NICHOLS, G., 1984: Deformation at the leading edge of a south Pyrenean thrust sheet —The structure of the Western External Sierras—. Colloque sur «Chevauchement et deformation». Toulouse: 79.
- PARDO, G. y VILLENA, J., 1979: Aportación a la Geología de la región de Barbastro. *Acta Geol. Hispánica*, 14: 289-292.
- POCOVÍ, A., 1978: *Estudio geológico de las Sierras Marginales Catalanas (Prepirineo de Lérida)*. Tesis Doctoral. Univ. Barcelona, 218 p.
- POCOVÍ, A., 1979: Deformaciones de la cobertera despegada influidas por accidentes de zócalo en las Sierras Marginales Catalanas (Prepirineo Meridional). *Acta Geol. Hispánica*, 14: 143-148.
- QUIRANTES PUERTAS, J., 1969. *Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario continental de los Monegros*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza (1969). Publ. Inst. Fernando el Católico (C.S.I.C.). Zaragoza (1978). 207 p.
- RIBA, O., 1967: Resultados de un estudio sobre el Terciario continental de la parte Este de la Depresión Central Catalana. *Acta Geol. Hisp.*, 2: 1-6.
- RIBA ARDERIU, O., REGUANT SERRA, S. y VILLENA MORALES, J., 1983: Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la cuenca terciaria del Ebro. Libro Homenaje a J.M. Ríos. *Inst. Geol. Min. España*, II: 95-126.
- ROSELL, J. y ROBLES, S., 1975: Le Paléogène marin de la Catalogne. *Bull. Soc. Géol. France (7^e)*, XVII (2): 195-198.
- SEGURET, M. 1970-72: *Etude tectonique des nappes et series decollées de la partie centrale du versant sud des Pyrénées. Caractère synsedimentaire: rôle de la compression et de la gravité*. Thèse Fac. Sc. de Montpellier (1970). Publ. de l'Univ. des Sc. et Tec. du Languedoc (1972) (USTELA), Sér. Geol. Struct. n.º 2, 155 p.
- SEGURET, M. y VERGELY, P., 1969: Sur le style en têtes plongeantes des structures pyrénéennes entre le Llobregat et le Ter (versant sud des Pyrénées orientales). *C. R. Acad. Sc. Paris*, 268, n.º 13 (D): 1702-1705.
- SIMÓ, A., 1985: *Secuencias deposicionales del Cretácico superior de la Unidad del Montsec (Pirineo Central)*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, 326 p.
- SOUQUET, P., 1967: *Le Cretacé supérieur sud-pyrénéen en Catalogne, Aragon et Navarre*. These. Univ. Paul Sabatier. Impr. Privat, Toulouse, 529p.
- VANN, R.H., GRAHAM, R.H. y HAYWARD, A.B., 1986: The structure of mountain fronts. *Journal of Structural Geology*, 8: 215-227.
- VIDAL, L.M., 1899: Compte-rendu des excursions dans la province de Lérida du 11 au 15 octobre. *Bull. Soc. géol. France (3)* 24: 884-900.

Recibido, enero 1987