

# Deformaciones de la cobertera despegada influidas por accidentes de zócalo en las Sierras Marginales Catalanas (Prepirineo Meridional)

por A. POCOVI JUAN

Dpto. Geomorfología y Tectónica, Universidad de Zaragoza.

## RESUMEN

Se estudia la disposición de las fracturas y pliegues de escala cartográfica de la parte occidental de las Sierras Marginales Catalanas y se interpreta que tales accidentes son compatibles con el deslizamiento de la cobertera hacia el Sur, sobre un substrato anterior al Triásico superior, el cual no tiene un papel meramente pasivo, sino que manifiesta la existencia de una fractura en dirección, oblicua a la estructura de la cobertera, activa durante el plegamiento de la misma.

## RESUMÉ

L'étude de l'allure des fractures et plis à l'échelle cartographique de la partie W des Sierras Marginales Catalanas nous conduit à interpréter que tels accidents sont compatibles avec le glissement vers le Sud de la couverture, sur un substratum pré-Triasique supérieur, qui a un rôle actif à cause de l'existence d'un décrochement activé pendant le plissement de la couverture.

## INTRODUCCIÓN

### *El marco geológico*

Las Sierras Marginales Catalanas están constituidas por un conjunto de pequeñas escamas imbricadas, vergentes al S, de la cobertera mesozoica y terciaria. En el contexto pirenaico (fig. 1) representan el frente en el que se amortigua el deslizamiento de la «unidad despegada central» (Cotiella, Montsec...) del Prepirineo Meridional (Seguret, 1972).

El despegue de las unidades deslizadas tiene lugar a nivel del tramo evaporítico del Triásico superior, por encima de un substrato constituido por el zócalo herciniano y un tegumento del Triásico inferior y medio que permanece solidario al primero. En el dominio del Prepirineo Meridional, este substrato aflora únicamente en la franja Norte, junto a la zona axial, estando integrado a la estructura alpina (tetès plongeantes, esquistosidad alpina...; según los trabajos de Dalloni (1913), Seguret (1964)...). En el resto del dominio prepirenaico meridional, incluyendo las Sierras Marginales, no hay ningún afloramiento de materiales anteriores al Triásico superior, por lo que el comportamiento del substrato, si no se recurre a la geofísica, sólo puede deducirse por su influencia en las estructuras de la cobertera.

Entre los autores que se han ocupado de la estructura del Prepirineo Meridional, los que defienden la existencia de grandes deslizamientos consideran que el substrato puede estar prácticamente indeformado (Seguret, 1972) o afectado por fallas inversas producidas en una fase de compresión tardía localizada en las Sierras Marginales (Reille, 1971); mientras los defensores de su carácter autóctono suponen que una intensa tectónica de fractura del zócalo, con grandes

accidentes longitudinales, se traduce en pliegues de cobertera por encima del nivel de despegue (Misch, 1948; Coma, 1960; Casteras, 1974).

Las estructuras de la cobertera en el sector estudiado de las Sierras Marginales reflejan un aspecto del comportamiento del substrato.

### *Situación*

El área estudiada se ubica en el límite de las provincias de Huesca y Lérida, que coincide casi rigurosamente con el curso del Noguera Ribagorzana, entre el valle de Ager (al S. del Montsec) y el contacto con la depresión del Fbro. Está prácticamente comprendida dentro de la hoja 327 (Os de Balaguer) del mapa nacional escala 1:50.000 (fig. 1b).

### *Estructura*

La cobertera sedimentaria está constituida por una serie de potencia moderada (poco más de 1.000 m. en la parte norte y reduciéndose lentamente hacia el S.) que abarca desde el Triásico superior al Oligoceno, aunque con importantes discontinuidades. Al Triásico superior evaporítico le siguen las calizas, margas fosilíferas y dolomías del Jurásico, truncado en su parte alta bajo el nivel laterítico que atestigua la emersión del Cretácico inferior. La transgresión del Cretácico superior alcanza esta región durante el Santoniense (Souquet, 1967; Pons, 1974), depositando sobre las lateritas un tramo de unos 300 m de calcarenitas masivas, con fauna, que constituyen el nivel más competente de la serie y el más destacado morfológicamente. En dicho tramo está representado hasta el Maastrichtiense, pero su parte superior es de carácter continental, de facies Garumniense. El carácter continental se mantiene a lo largo del Paleoceno hasta que la transgresión del Ilerdiense restituye la sedimentación marina, depositándose la caliza con alveolinas (Garrido y Ríos, 1972). Únicamente en el valle de Ager (flanco N del anticlinal de Millà), esta serie presenta niveles superiores al Ilerdiense. En el resto de la zona, el Terciario continental de carácter sintectónico, está ampliamente representado, integrado en la estructura o fosilizándola. El primer depósito que fosiliza netamente las estructuras de esta zona es la Fm. Sariñena, de edad Aquitaniense.

Por el estilo de deformación que afecta a la cobertera descrita se distinguen dos sectores bien caracterizados (fig. 1b): El sector de Millà-Tragó, en la mitad N, afectado por un conjunto de pliegues suaves, de tipo concéntrico, paralelos,

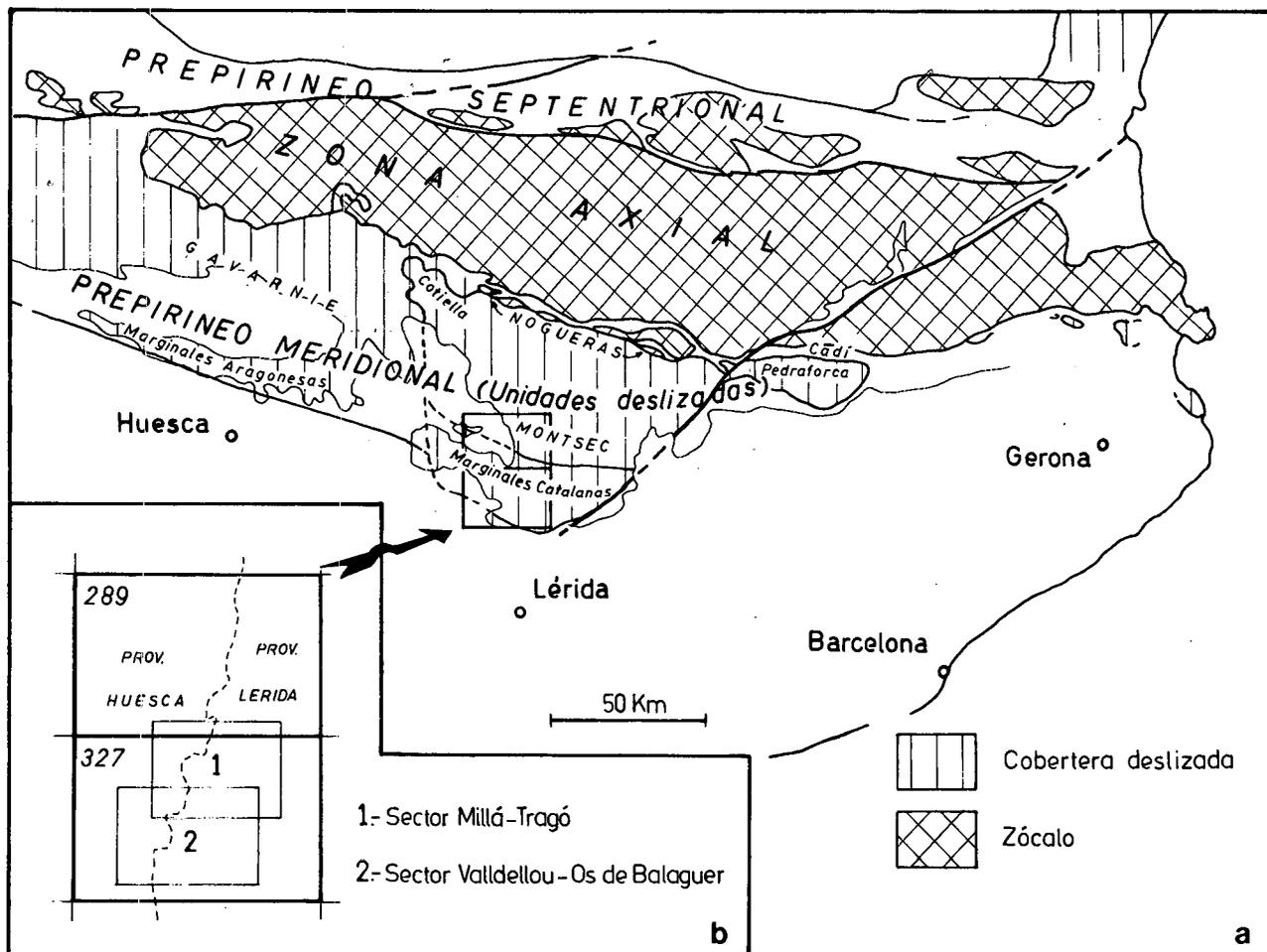


Fig. 1. Esquema de situación: a) Situación de las Sierras Marginales en el ámbito pirenaico. b) Situación de la zona estudiada referida al mapa 1:50.000.

de eje curvilíneo (sigmoideal) orientado aproximadamente WNW - ESE y con ligera vergencia meridional. El sector Valldellou-Os de Balaguer, en la mitad S, es una zona de cabalgamientos más o menos paralelos a los ejes de los pliegues de Millà-Tragó, donde predomina la vergencia meridional; aunque algunos de ellos presentan vergencia N en la parte correspondiente a la margen izquierda del Noguera Ribagorçana.

El estudio de las estructuras del sector Millà-Tragó lleva a considerar la existencia de una fractura de desplazamiento horizontal en el substrato. La existencia de tal accidente explica la presencia de cabalgamientos de vergencia N en el sector Valldellou-Os de Balaguer.

#### SECTOR MILLA-TRAGO. -

##### *Direcciones preferentes de pliegues y fracturas*

En las amplias zonas de charnela de los anticlinales, los extensos afloramientos de calcarenitas del Cretácico superior presentan un retículo de fracturas observables en la fotografía aérea. Las trazas de las fracturas observadas en la fotografía aérea se han transferido a un mapa topográfico 1:25.000 (ampliación fotográfica del mapa militar A.S.M.), y se han expresado cuantitativamente las orientaciones preferentes de estas fracturas en diagramas en rosácea con intervalos de 10°.

El mismo tratamiento se ha llevado a cabo en lo que se refiere a los ejes de los pliegues.

#### *Resultados*

El diagrama de fracturas (fig. 2c) muestra dos máximos bien manifiestos pese a la notable dispersión. Estos máximos están orientados NNW-SSE y NE-SW. La escasa concentración de los valores obtenidos puede justificarse en parte por la forma curva de las fracturas de mayor extensión que puede apreciarse en el esquema fotogeológico (fig. 2a).

Los ejes de los pliegues de Millà-Tragó se orientan en dirección WNW-ESE, muy uniformemente. La ligera dispersión que se aprecia en el diagrama (fig. 2b) se debe a la curvatura de las trazas axiales.

#### *Interpretación*

Se considera inicialmente la compatibilidad de las estructuras observadas con un comportamiento pasivo del substrato y a continuación se discute la posible existencia de condicionamientos debidos a movimientos en el substrato.

##### a) *Substrato pasivo:*

El deslizamiento hacia el S de la cobertera prepirenaica despegada a nivel de Keuper justifica la existencia de pliegues y cabalgamientos paralelos, de eje de dirección próxima a

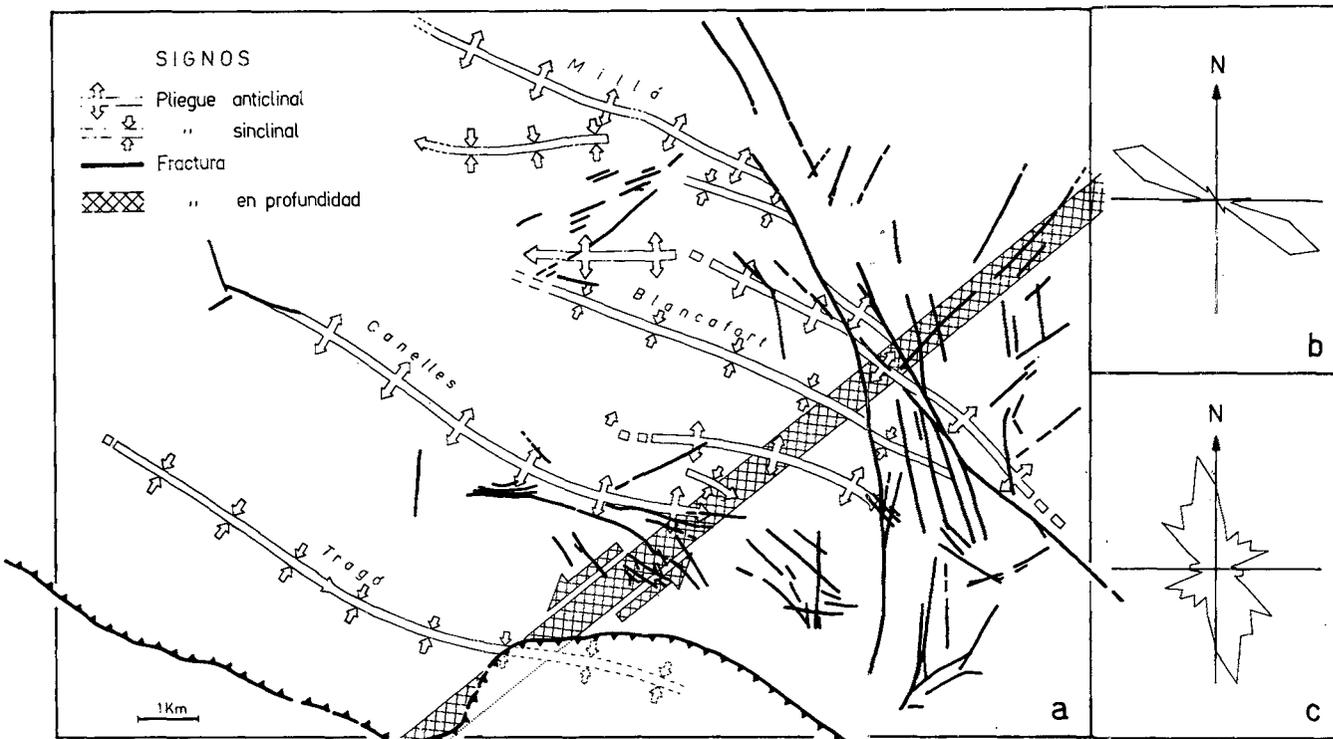


Fig. 2. Estudio de las direcciones preferentes de fracturas y ejes de pliegue del sector Millà - Tragó: a) Esquema fotogeológico de fracturas y ejes de pliegue. b) Diagrama en rosácea de las direcciones de pliegues. c) Idem. de fracturas.

E-W (fig. 3b<sub>2</sub>), en esta zona que se sitúa en posición frontal de la masa deslizada. Asociada a estos pliegues, estaría justificada la presencia de fracturas conjugadas diagonales de tipo «D» (Vialon, et al., 1976), según fig. 3b<sub>2</sub>. Las alteraciones locales de esta disposición pueden explicarse por la presencia de anisotropías de la cobertera, tales como variaciones importantes de potencia o de litología, o bien por condicionamientos debidos al comportamiento del substrato.

La constitución litológica de la cobertera no muestra ninguna variación brusca localizada en esta posición, a la que puedan atribuirse tales alteraciones, pues únicamente manifiesta una tendencia a la reducción de la potencia de la serie hacia el S, pero a una escala que rebasa los límites de la zona considerada. Parece razonable, por tanto, invocar al comportamiento del substrato pretriásico para justificar estas anomalías.

#### b) Condicionamientos debidos al substrato activo:

Los cambios de dirección (forma sigmoidal) de los ejes de pliegues tienen lugar sobre una línea de dirección NE-SW (N 052). La prolongación de esta línea por el SW está alineada con los cambios de vergencia de los cabalgamientos de la zona meridional colindante. Ello sugiere la existencia de un accidente del substrato, orientado según esta línea.

Una fractura de desplazamiento horizontal en el substrato podría justificar la aparición de pliegues escalonados en la cobertera, cuya traza axial presentaría forma sigmoidal: pliegues que se situarían sobre la fractura profunda formando un ángulo de unos 45° con ella y amortiguándose periclinalmente con la distancia a aquella (fig. 3c<sub>1</sub>). La deformación frágil relacionada con un accidente de este tipo, puede dar lugar a la aparición de fracturas sintéticas «R» y antitéticas «R'», que forman ángulos próximos a 15° y 75°, respectivamente, con la dirección de la fractura profunda (fig. 3c<sub>2</sub>),

según los resultados de los modelos de Riedel (1929). Puede también aparecer una tercera familia «P», sintética, en posición simétrica a «R».

Las estructuras observadas no responden rigurosamente a ninguno de estos dos modelos simples, pero parecen registrar la influencia de ambos: Se puede pensar que los pliegues son originados por el deslizamiento hacia el S de la cobertera desplegada.

La dirección WNW-ESE de los pliegues de esta zona se aparta ligeramente de la dirección pirenaica, más próxima a E-W. Ello se debe a su emplazamiento próximo al extremo oriental de las Sierras Marginales Catalanas, las cuales tienen forma arqueada con la convexidad hacia el S.

Sin embargo, el substrato sobre el que se desliza esta cobertera no juega un papel meramente pasivo, sino que está afectado por fracturas en dirección NE-SW, con movimiento sinistro que imprime la forma sigmoidal de los ejes de los pliegues. A su vez, la disposición de las fracturas es compatible con la presencia de tales accidentes del substrato: Su disposición en familias conjugadas de Riedel, con mayor desarrollo del máximo correspondiente a R' es asimilable a los diversos ejemplos descritos por Tchalenko (1970) en zonas de cizalla de desplazamiento poco intenso. Cabe considerar que tales fracturas se pueden haber originado como fracturas «D» en un estadio precoz del plegamiento, adquiriendo una redistribución en «R» y «R'» durante la actividad de la fractura. Se ha de tener presente que los argumentos considerados están de acuerdo con la existencia de una fractura o zona de fractura de las características expuestas, pero no permite conocer si su movimiento ha sido posterior o simultáneo al plegamiento. La posibilidad de que el movimiento de la fractura se haya producido simultáneamente al plegamiento y, por tanto, al deslizamiento de la cobertera, supone que no podemos conocer el emplazamiento

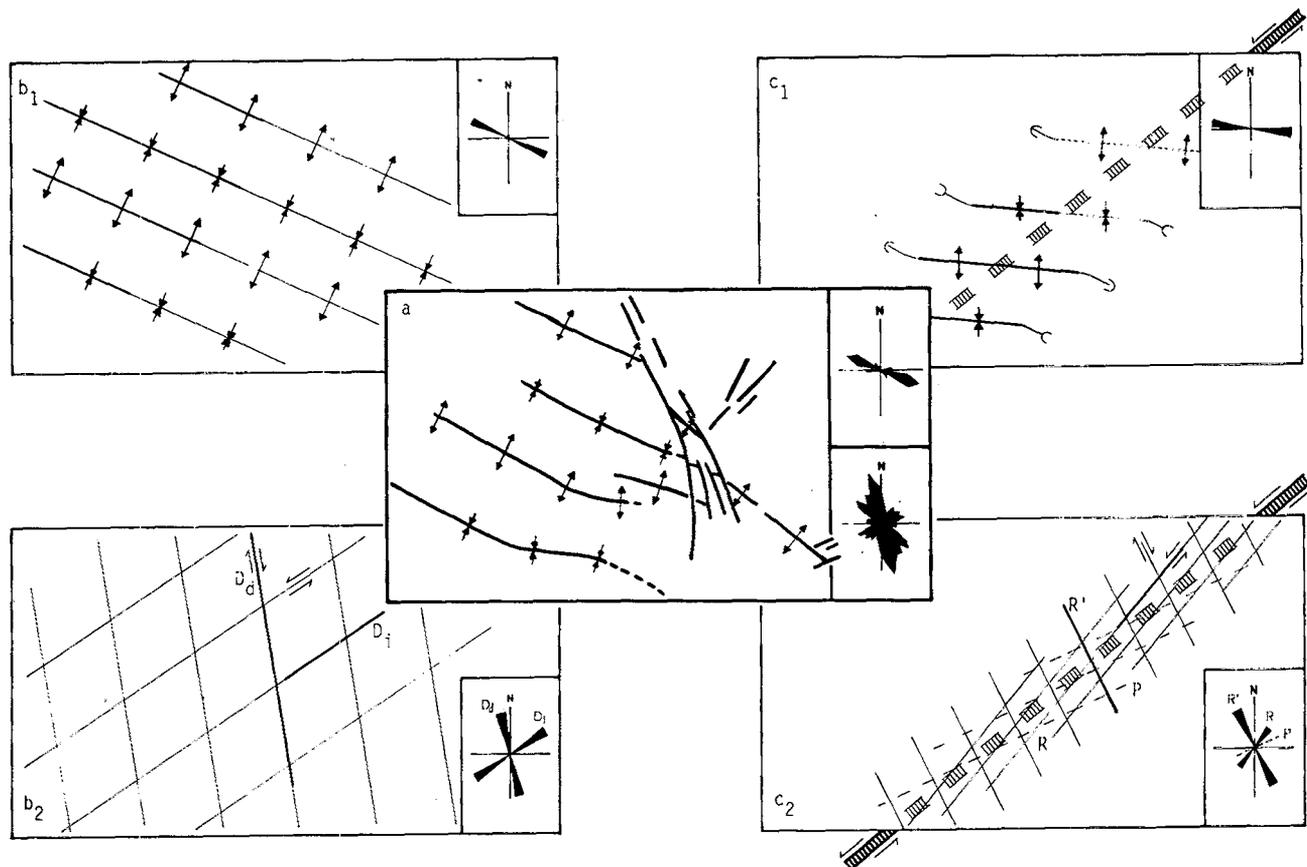


Fig. 3. Interpretación de los pliegues y las fracturas del sector Millà - Tragó: a) Direcciones preferentes de fracturas y pliegues (fig. 2); b) Orientaciones de pliegues y fracturas compatibles con un deslizamiento hacia el S (o SSW); c) Orientaciones de pliegues y fracturas compatibles con el movimiento sinistro de una fractura NE-SW del substrato.

exacto de la fractura en el substrato puesto que la cobertera se ha desplazado hacia el S oblicuamente a aquella.

Por otra parte, este accidente encaja en el retículo de megafacturas que afectan el dominio pirenaico del que se han ocupado diversos autores (Arthaud et Matte, 1975; Souquet, et al., 1977; Solé Sugrañes, 1978...) bajo diferentes puntos de vista.

### SECTOR VALDELLOU - OS DE BALAGUER

#### *Cabalgamientos de doble vergencia*

En esta zona, cuyo rasgo estructural más destacado es la existencia de una sucesión de escamas imbricadas de vergencia meridional, la presencia de cabalgamientos vergentes al N en la margen izquierda del Noguera Ribagorçana representa una anomalía aparentemente incompatible con el régimen general de deslizamientos hacia el S. Por esta razón Misch (1948) considera la existencia de una fase de deformación post-oligocena (Sávia) en las Sierras Marginales, superpuesta al plegamiento principal, que considera de edad Pirenaica. En realidad, los depósitos oligocénicos de las Sierras Marginales tienen carácter sintectónico y también están afectados por los cabalgamientos de vergencia meridional que dominan la estructura (Reille, 1971; Pocovi, 1978).

Dado que los cambios de vergencia de los cabalgamientos se alinean con la dirección de la fractura profunda deducida de las orientaciones de pliegues y fracturas de Millà-Tragó, se puede pensar en la posible influencia de tal accidente para determinar estos cambios de vergencia. Por otra parte, no se

debe perder de vista la existencia de una reducción de espesor de la serie sedimentaria hacia el S, la cual condiciona la estructura en el sentido que la deformación puede ser más intensa para esfuerzos similares a los que han deformado el sector N. En este caso, el efecto de la supuesta fractura profunda no se limita a un ligero cambio de dirección de las estructuras originadas por el deslizamiento de la cobertera que pueda explicarse por el movimiento tardío de la fractura; en cambio considerando la actividad simultánea de la fractura y el deslizamiento hacia el S se puede proponer la evolución siguiente:

#### *Evolución de la deformación*

Si se acepta que los distintos estilos de deformación presentes en la zona estudiada representan distintas intensidades de un mismo proceso, podemos asimilar estas distintas intensidades a las etapas sucesivas de la evolución de la deformación (fig. 4):

a) Los pliegues de ejes sigmoidales del sector Millà-Tragó (fig. 4a) representan una etapa de moderada deformación (donde la serie sedimentaria tienen mayor espesor).

b) Se acentúa el desplazamiento de los labios de la fractura hasta enfrentarse anticlinal con sinclinal. La cresta anticlinal tenderá a cabalgar sobre el valle sinclinal, donde no encuentra resistencia. La fig. 4b' ilustra este aspecto de la estructura simplificando hasta considerar que la fractura se manifiesta en superficie sin que existan otras deformaciones.

La figura 4b esquematiza el efecto combinado de la fractura y el desplazamiento de la cobertera hacia el S. Los

pliegues adquieren marcada vergencia al S y donde la cresta anticlinal se enfrenta a un valle sinclinal, el primero tiende a cabalgar sobre el segundo, lo cual tanto puede ocurrir con vergencia S (cuando el anticlinal del labio NW cabalga sobre el sinclinal del labio SE), como con vergencia N (cuando el sinclinal del labio NW se introduce por debajo del anticlinal del labio SE).

c) Se generaliza el régimen de cabalgamientos de vergencia S, exceptuando aquellos en los que se ha iniciado la vergencia opuesta en las inmediaciones de la fractura. Es la estructura que se observa en la zona Valldeïou - Os de Balaguer (fig. 4c)

d) Progresa el deslizamiento hacia el S de la cobertera despegada, acentuando la vergencia meridional hasta el punto de llevar a posición invertida los planos de cabalga-

miento inicialmente de vergencia N, como se observa en el flanco N del sinclinal de Sta. Anna (fig. 5).

Por consiguiente, puede considerarse que las deformaciones que afectan a la zona estudiada se han originado en un mismo proceso prolongado de deformación, en el que intervienen simultáneamente el deslizamiento de la cobertera despegada y el movimiento sinistro de una fractura (o zona de fracturación) del substrato, sin necesidad de considerar sucesivas fases tectónicas de distinta orientación. Los distintos estilos de deformación observados en la zona son el resultado de un mismo proceso que se manifiesta con mayor intensidad conforme se reduce el espesor de la serie sedimentaria afectada.

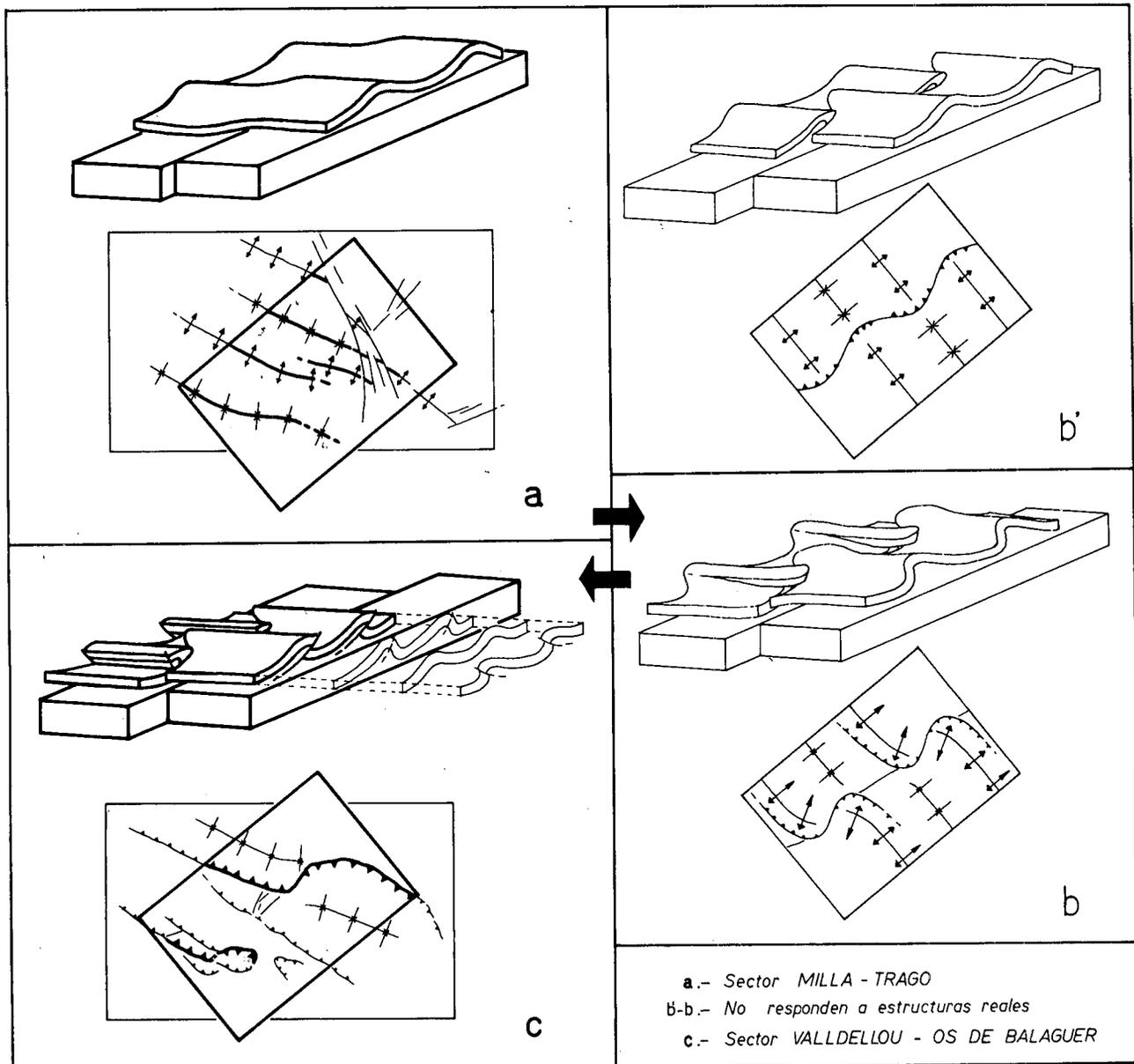


Fig. 4. Evolución de la deformación considerando que los distintos estilos observados equivalen a etapas sucesivas de un mismo proceso. En trazo grueso se expresa el paralelismo entre el modelo y la realidad.

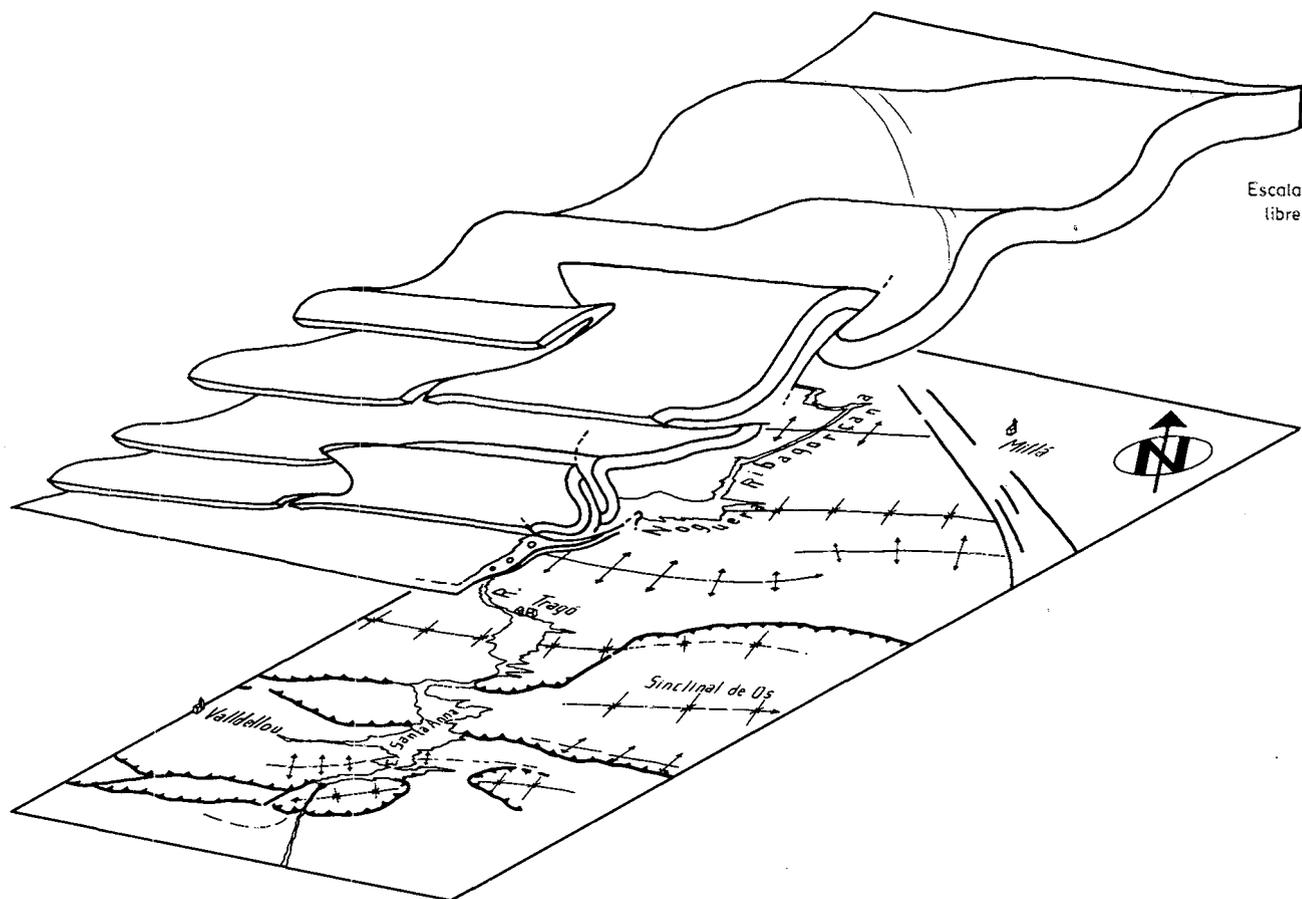


Fig. 5. Bloque diagrama muy esquemático de la franja de cobertera afectada por el accidente del substrato.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco las observaciones y críticas de los profesores P. Santanach Prat, L. Solé Sugrañes y P. Vialon, así como la colaboración de J. Mandado Collado.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARTHAUD, F. y MATTE, Ph. (1975): Les décrochements tardi-herciniens du Sud-ouest de l'Europe. Géométrie et essai de reconstitution des conditions de deformation. *Tectonophysics*, n. 25, p. 139-171.
- CASTERAS, M. (1974): Les Pyrénées. In DEBELMAS, J. - *Géologie de la France* t. II, 296-345. Paris, E. Doin.
- COMA, J. E. (1960): Explicación de la Hoja n.º 327, Os de Balaguer, Mapa Geológico de España, esc. 1:50.000, 83 p., 1 mapa geol. pleg. f. t.
- DALLONI, M. (1913): Stratigraphie et tectonique de la région de Nogueras (Pyrénées centrales). - *Bull. Soc. géol. France*, t. XIII, p. 243-264.
- GARRIDO, A. y J. M. RIOS (1972): Síntesis geológica del Secundario y Terciario entre los ríos Cinca y Segre. - *Bol. Geol. Min. España*, t. LXXXIII, n. 1, p. 1-47.
- MISCH, P. (1948): La estructura tectónica de la región central de los Pirineos meridionales. (Traducción de «Der Bau der Mittleren Sudpyrenaen»). *Abh. Gess. d. Wiss. Göttingen, Math.-Phys.* 1934, t. III, p. 1597-1764). - *Publ. Extranj. Geol. España*. C.S.I.C., t. IV, p. 3-180.
- POCOVÍ, A. (1978): Estudio geológico de las Sierras Marginales Catalanas. - *Acta Geológica Hispánica*, t. 13, n. 3, p. 73-79.
- PONS, J. M. (1977): *Estudio estratigráfico y paleontológico de los yacimientos de rudistidos del Cretácico superior del Prepirineo de la provincia de Lérida*. Tesis Universidad Autónoma de Barcelona, Año 1974, n. 3, 105 p. Bellaterra.
- REILLE, J. L. (1971): *Les relations entre la tectogenese et sedimentation sur le versant sud des Pyrénées centrales d'après l'étude de formations tertiaires essentiellement continentales*. These, Univ. Montpellier, 330 p.
- RIEDEL, W. (1929): Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen. - *Central bl. f. Min. Geol. und Paläont.*, B p. 354-368.
- SEGURET, M. (1964): Sur le style en têtes plongeantes des structures pyrénéennes de la zone de Nogueras (versant sud des Pyrénées centrales). - *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 259, p. 2895-2898.
- SEGURET, M. (1972): *Etude tectonique des nappes et séries decollées de la partie centrale du versant sud des Pyrénées*. Thèse Montpellier Publ. de l'Univ. des Sciences et Techniques du Languedoc (USTELA), Sér. Géologie Structurale, n. 2, 155 p.
- SOLE SUGRAÑES, L. (1978): Alineaciones y fracturas en el Sistema Catalán según las imágenes LANDSAT-1. - *Tecniterrae*, n. 22, p. 6-16.
- SOUQUET, P. (1967): *Le Crétacé supérieur sud-pyrénéen en Catalogne, Aragon et Navarre*. Thèse. Fac. Sciences. Toulouse, 529 p.
- SOUQUET, P., B. PEYBERNES, M. BILOTTE, F. J. DEBROAS (1977): *Nouvelle esquisse structurale des Pyrénées*. Publ. Université Paul Sabatier Toulouse. Sér. Géologie, n. 8, 16 p.
- TCHALENKO, J. S. (1970): Similarities between Shear Zones of Different Magnitudes. *Geol. Soc. Am. Bull.* t. 81, p. 1625-1640.
- VIALON, P., RUHLAND, M. y GROLIER, J. (1976): *Elements de Tectonique Analytique*. Paris, E. Masson, 118 p.

Recibido, octubre 1978.