

## La estructura geológica de Menorca: las zonas de Tramuntana y Migjorn

Bernadí GELABERT

Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears

### Introducción

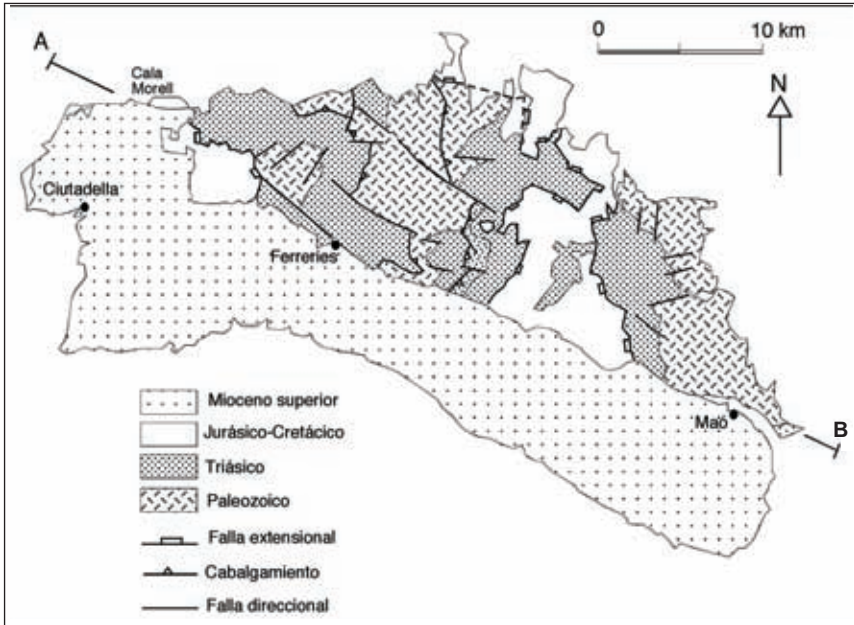
El presente capítulo se organiza en tres apartados bien diferenciados: el primero corresponde a una introducción sobre la estructura geológica general de Menorca. El segundo apartado contiene una discusión de los datos bibliográficos sobre la estructura geológica del sector septentrional (la Tramuntana). Finalmente el tercer apartado se refiere a la fracturación y la evolución estructural del Migjorn de Menorca y su influencia sobre el trazado de los torrentes.

### Estructura geológica de Menorca

La estructura general de la isla de Menorca se conoció a partir de los trabajos de Fallot (1923) y Bourrouilh (1983). Roca (1992) reinterpretó los datos anteriores aplicando los nuevos conceptos asociados a la tectónica de cabalgamientos. Estos estudios muestran que la isla se encuentra estructurada en un sistema de láminas cabalgantes que están recubiertas discordantemente por depósitos de edad Mioceno superior (Bourrouilh y Colom, 1968; Obrador, 1972/73). El emplazamiento de estas láminas, que involucran materiales del Paleozoico, del Mesozoico y del Oligoceno, se produjo posteriormente al Oligoceno y con anterioridad al Mioceno superior.

Tanto desde un punto de vista geológico como geomorfológico, Menorca se divide en dos partes separadas por una línea imaginaria WNW-ESE que se extiende desde Maó hasta Cala Morell, pasando por Ferreries: a) el Migjorn, que abarca todo el S de Menorca, está formado por materiales del Mioceno superior que forman un anticlinal muy laxo con el eje orientado N-S; y b) la Tramuntana, que reúne todos los afloramientos de edad paleozoica, mesozoica y oligocena; estos materiales se encuentran fallados y plegados por la orogenia alpina y constituyen la mitad septentrional de la isla (Fig. 1).

Con una estructura y unos materiales diferentes, cada uno de estos dos sectores registra etapas diferentes de la estructuración mesozoica y cenozoica de la isla. De este modo, la estructura de Tramuntana refleja principalmente la etapa compresiva desarrollada durante el

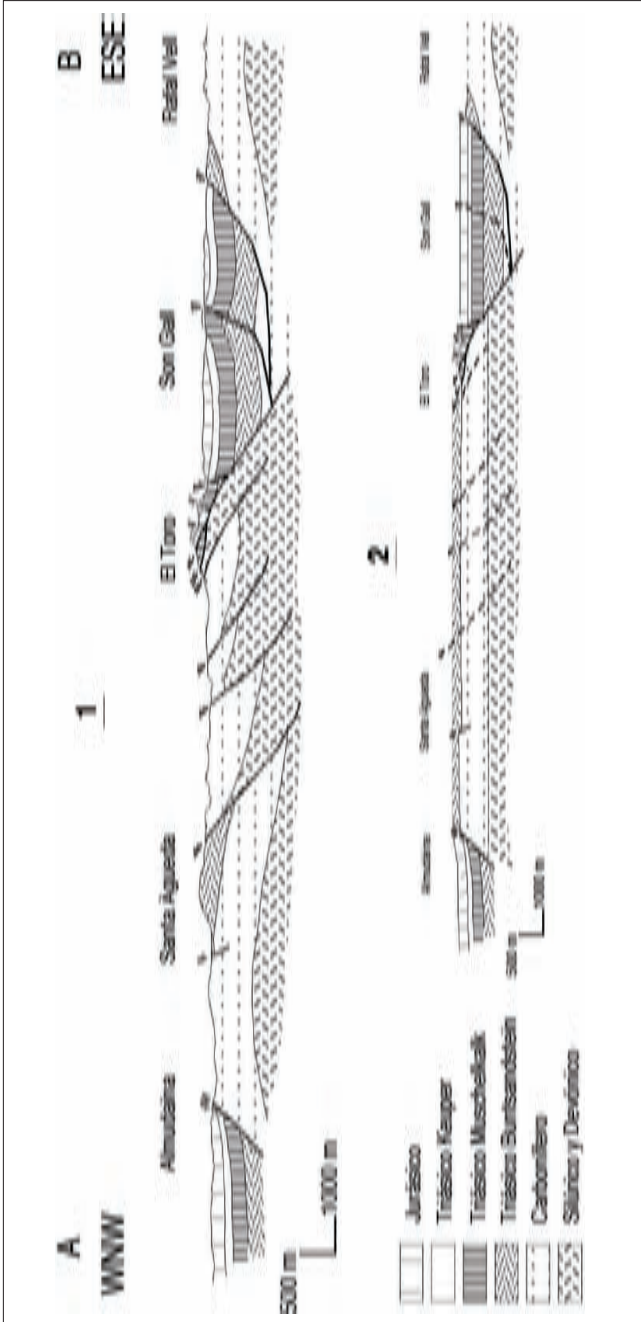


**Figura 1**  
Mapa geológico simplificado de Menorca. También se indica la situación del corte geológico de la figura 2

Oligoceno superior y el Mioceno medio, mientras que la estructura del Migjorn refleja básicamente una etapa extensiva del Mioceno superior seguida de una compresión de menor escala e intensidad durante el Plio-Cuaternario.

### La estructura geológica de la zona de Tramuntana de Menorca

La zona de Tramuntana se caracteriza por la presencia de un conjunto de fallas direccionales WNW-ESE y de un sistema de cabalgamientos y pliegues que en superficie presentan una dirección NE-SW y también NW-SE. La presencia de estructuras vergentes hacia el NE como también hacia el NW y SW originó que Bourrouilh (1983) interpretase la estructura compresiva de Menorca como el resultado de dos fases tectónicas: una primera compresiva NE-SW y una segunda también compresiva NW-SE. Roca (1992), a partir de datos cartográficos, deduce que se trata de una sola etapa compresiva con emplazamiento de las láminas cabalgantes hacia el WNW. La geometría ortogonal que presenta la estructura de Tramuntana sería el resultado de la interacción entre las rampas frontales (NNE-SSW) y la oblicuas (NW-SE) de los cabalgamientos. En este trabajo también se han



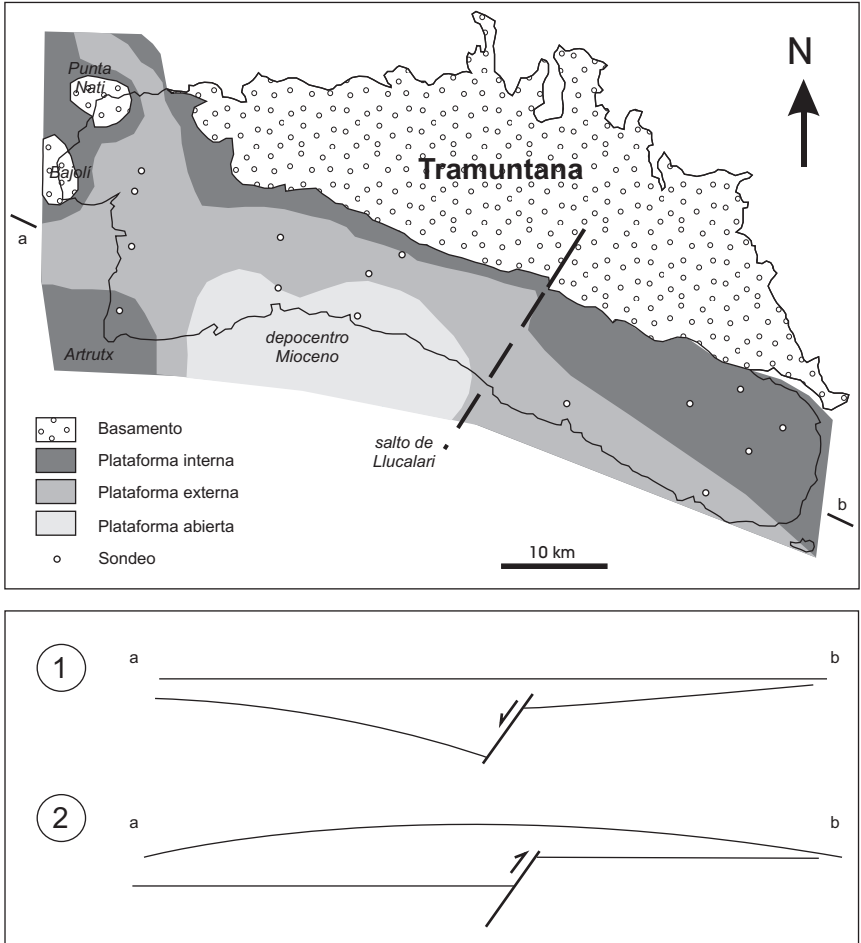
**Figura 2**  
 1) Corte geológico longitudinal a través del sector de Tramuntana de Menorca. Modificado de Bourrouilh (1983) y Roca (1992)  
 2) Restitución del corte geológico a la situación anterior al Oligoceno superior, anterior a la compresión

detectado (Fig. 2) fallas extensivas anteriores a los cabalgamientos (estos últimos pliegan las primeras). Este sistema extensivo fue apuntado por Roca (1992), aunque este autor prefirió considerarlo como un sistema de cabalgamientos fuera de secuencia. Aquí se considera el sistema extensivo por cuatro motivos: 1) Las fallas tienen un trazado rectilíneo que induce a pensar que son fallas con un buzamiento pronunciado, a diferencia del escaso buzamiento de los cabalgamientos; 2) Estas fallas extensivas tienen dos orientaciones preferentes, NW-SE y NE-SW, que coinciden con las direcciones de los cabalgamientos; la inversión tectónica de estas fallas normales podría dar la geometría ortogonal de los cabalgamientos. Un argumento a favor de la inversión tectónica es el hecho de que, a lo largo de numerosas fallas, un contacto extensional se transforma lateralmente en compresivo y viceversa; 3) En Mallorca se ha descrito un sistema extensivo mesozoico plegado y fallado por la compresión oligo-miocena (Fallot, 1922; Gelabert, 1998, entre otros); de este modo, la evolución geológica de ambas islas sería similar, como sugiere su proximidad geográfica y el hecho de que las dos pertenezcan al Promontorio Balear; y 4) En la hipótesis de Roca (1992), con dos niveles de despegue regionales en el Paleozoico y en el Triásico Keuper, la práctica ausencia de materiales del Triásico Buntsandstein y Muschelkalk en las láminas inferiores se explica mediante el hecho de que el despegue regional superior corta las láminas inferiores. Si así fuera, el Triásico inferior y medio se encontraría disperso en las láminas superiores; la cartografía de Bourrouilh (1983) demuestra que este hecho no se produce en ningún caso.

En definitiva, la estructura geológica de la zona de Tramuntana consiste en un sistema de fallas extensivas, de orientación NE-SW y NW-SE y de edad anterior al Oligoceno superior, plegado, cortado y parcialmente invertido por un sistema de cabalgamientos vergentes hacia el WNW durante el periodo comprendido entre el Oligoceno superior y el Mioceno medio.

### **La estructura geológica de la zona del Migjorn de Menorca**

Con el objetivo de descifrar la estructura geológica de la zona de Migjorn presentamos un mapa de la paleotopografía durante la sedimentación del Mioceno superior (Fig. 3). La zona de aguas someras se localiza a lo largo del borde meridional y occidental de Tramuntana, mientras que la zona de aguas profundas se localizan básicamente en el sector central del Migjorn (Barón *et al.*, 1984; Pomar *et al.*, 2002). Como la zona de aguas profundas coincide con el área de mayor relieve en el Migjorn y el margen oriental de la zona de aguas profundas coincide con



**Figura 3**

Esquema de la distribución de la paleotopografía durante el Mioceno superior. Corte E-W de la zona del Migjorn durante el Mioceno superior (1) y su posterior evolución durante el Plioceno-Cuaternario (2)

una falla de orientación NNE-SSW en Tramuntana, interpretamos que esta falla controló la paleotopografía, durante el Mioceno superior y funcionó posteriormente como una falla inversa durante el Plioceno, dando lugar a un anticlinal laxo, el cual constituye la estructura general del Migjorn. La orientación del eje del anticlinal es NNE-SSW, paralelo a la citada falla (que incluso aflora en Tramuntana). La cresta de este amplio anticlinal coincide con la zona de mayor relieve del Migjorn.

De acuerdo con Bourrouilh (1983) y Roca (1992), los materiales del Mioceno superior que constituyen el Migjorn de Menorca están afectados por dos sistemas de fracturas extensivas: un sistema orientado NW-SE y el otro N-S. Las fracturas extensivas NW-SE, tienen un salto de orden decamétrico a hectométrico, una longitud que puede llegar a ser kilométrica y un buzamiento preferente hacia el SW. Reconocidas únicamente en el sector central del Migjorn, la geometría del sistema de fallas N-S es bastante desconocida.

### **Análisis de la fracturación miocena**

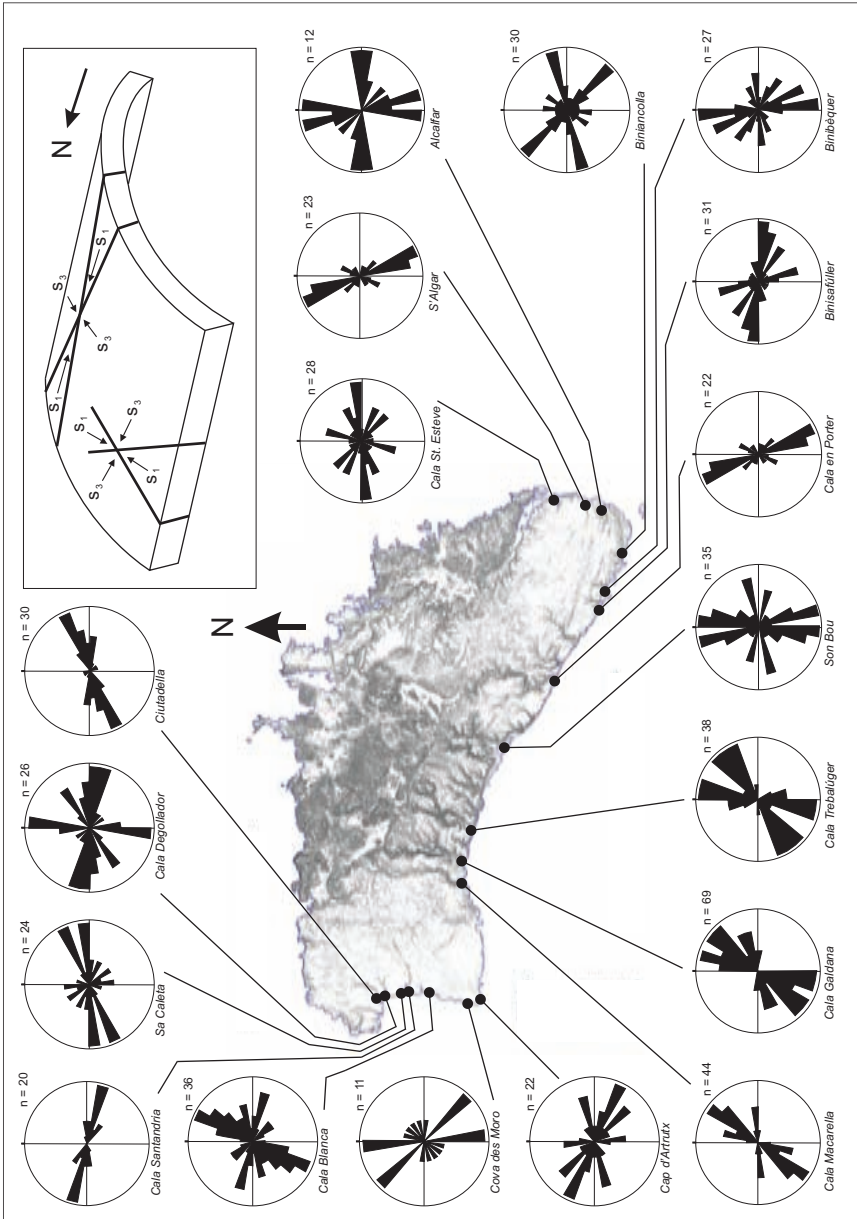
Para llevar a cabo el análisis de las fracturas se han realizado 30 estaciones que se han agrupado en 18 localidades. En la figura 4 se han representado los diagramas de direcciones para cada una, indicando la localidad y el número de fracturas analizadas.

Se observa que en el sector central las fracturas tienen una dirección predominante N, NNE o NNW, mientras que en los sectores oriental y occidental las fracturas predominantes tienen una orientación E, ENE o ESE, con alguna excepción N o NNE, debido probablemente a fracturas paralelas a la línea de costa, asociadas a la formación del acantilado. Todo el conjunto es semejante a la asociación ideal de fallas propias de un anticlinal suave (Fig. 4).

### **Perfil sísmico CM-5**

El perfil sísmico CM-5 se realizó un kilómetro al W de Ciutadella, con una orientación E-W. En este trabajo se sigue parcialmente la identificación de reflectores de Acosta *et al.* (1986). De este modo, los reflectores más superiores de gran intensidad y continuidad lateral corresponden a los sedimentos del Cuaternario (Fig. 5). A lo largo del perfil la unidad del Cuaternario pasa a una unidad mucho menos reflectiva de edad Plio-Cuaternario. En el perfil sísmico se distinguen los siguientes rasgos: 1) la pareja anticlinal-sinclinal que forman los reflectores localizados a 80-100 milisegundos (mS) de profundidad presenta una continuidad lateral a lo largo del perfil; 2) el final abrupto de los reflectores inferiores (a 125-145 mS), situados en el sector occidental del perfil, contra lo que interpretamos como una falla; 3) el incremento de espesor hacia la falla de la unidad transparente (entre 100 y 125 mS) localizada entre las dos unidades reflectivas inferiores; 4) la unidad más superior del Cuaternario se dispone discordante sobre la unidad que describe la pareja anticlinal-sinclinal a 80-100 mS.

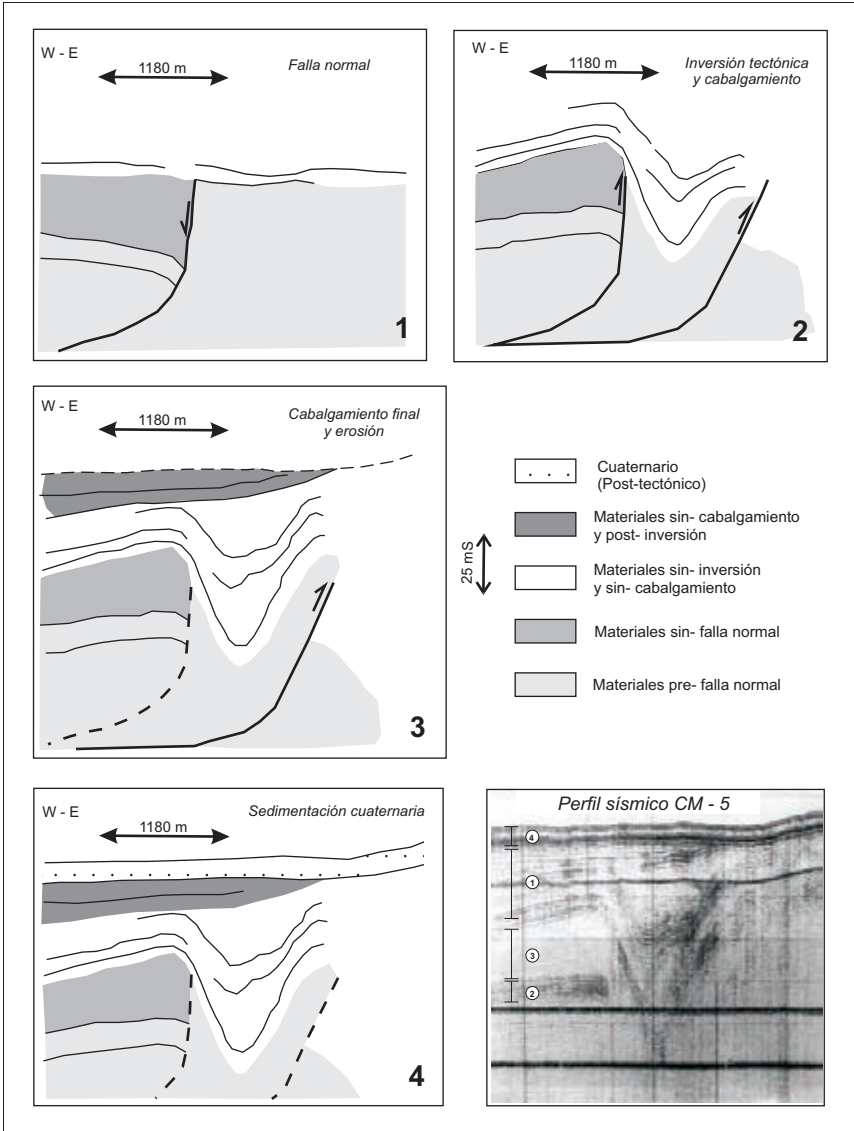
Nuestra interpretación del perfil sísmico se muestra de manera



**Figura 4**

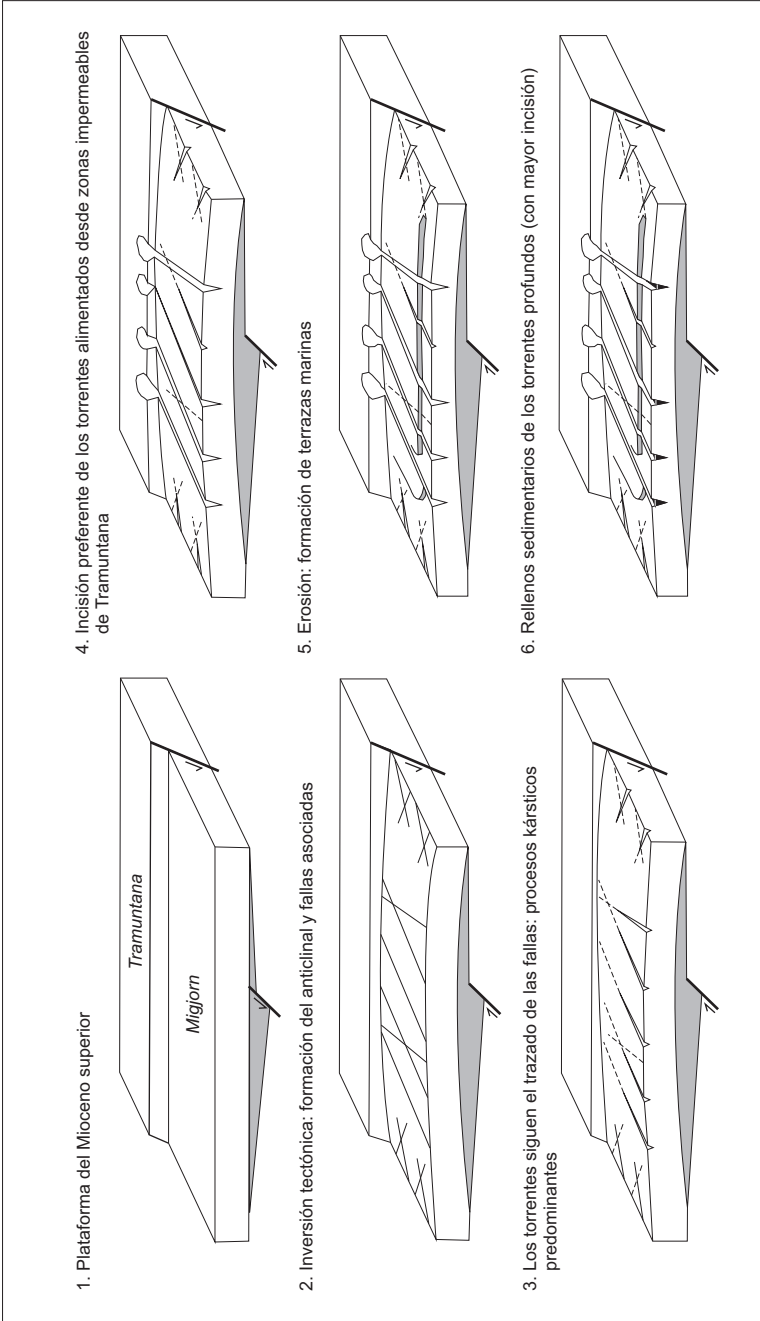
Situación de las estaciones de fracturación realizadas sobre el mapa de pendientes de Menorca. Diagrama en rosa de las orientaciones de falla. En el recuadro, asociación ideal de fallas y sistema de esfuerzos en un anticlinal

secuencial en la figura 5. Una vez se ha restituido a la horizontal la unidad que forma el anticlinal-sinclinal, la unidad horizontal reflectiva más inferior (125-145 mS) buza hacia el E contra lo que interpretamos como una



**Figura 5**  
 Perfil sísmico de reflexión CM-5 situado al W de Menorca y desarrollo secuencial de la interpretación realizada





**Figura 6**  
Esquema de la evolución geodinámica del sistema de torrentes del Migjorn de Menorca

falla normal (Fig. 5.1). Debido al incremento de espesor hacia el E, hacia la falla, de la unidad transparente (100-125 mS), interpretamos que el depósito de la unidad transparente se realizó al mismo tiempo que el movimiento de la falla. La posterior inversión de la falla normal causó la formación de la pareja anticlinal-sinclinal (75-100 mS). En la figura 5.3 el pliegue de propagación de falla finaliza su desarrollo y se erosiona. La figura 5.4. muestra el depósito final de la unidad más superior Cuaternaria, discordante sobre las unidades infrayacentes.

En definitiva, se observa un paralelismo entre los datos de campo y los datos sísmicos: el Migjorn de Menorca estuvo afectado por extensión durante el Mioceno superior y alguna falla extensiva sufrió inversión tectónica durante el Plio-Cuaternario, causando el anticlinal laxo que constituye la estructura general del Migjorn.

## **Discusión y conclusiones**

La estructura geológica general de la isla de Menorca es el producto de cuatro etapas de deformación: una primera etapa extensiva durante el Mesozoico y/o Cenozoico inferior, una primera compresión durante el Oligoceno superior-Mioceno inferior, seguida de una extensión durante el Mioceno superior y una compresión suave final durante el Plioceno o Cuaternario. Cada una de estas etapas, en función de su duración, intensidad y edad, ha dejado una huella en la actual estructura de Menorca.

La figura 6 es un esquema de la evolución geodinámica del sistema de torrentes del Migjorn, de acuerdo con los datos geológicos y sísmicos presentados. La inversión y levantamiento de la cuenca del Mioceno superior produjo un amplio y laxo anticlinal con fracturas asociadas paralelas a la dirección del eje del anticlinal (Fig. 6-2). Las fracturas representan caminos preferentes para el desarrollo de torrentes por erosión remontante. Como la litología predominante del Migjorn es la caliza y esta es muy permeable, cuanto mayor sea la superficie de la cuenca correspondiente a los materiales impermeables de Tramuntana, mayor es la incisión de los torrentes. Simultáneamente, torrentes más superficiales se desarrollan en aquellas cuencas cuya área de drenaje corresponda únicamente a las calizas permeables del Migjorn. Finalmente, durante el último episodio transgresivo del Pleistoceno superior-Holoceno, se produce el relleno del valle de aquellos torrentes que presentan una mayor incisión (los de la parte central del Migjorn).

**Agradecimientos:**El presente trabajo es una contribución al proyecto BTE2002-04552-C03-01 del Ministerio de Ciencia y Tecnología.