

# Remagnetizaciones asociadas a diagénesis y su relación con el emplazamiento de láminas cabalgantes en el Pirineo Meridional

## Remagnetization associated to diagenesis and its relation to thrust sheet emplacement in the Southern Pyrenees

J. Dinarès Turell

Institut Ciències de la Terra «Jaume Almera», Laboratori de Paleomagnetisme, CSIC. C/ Martí i Franquès, s/n, 08028 Barcelona

### ABSTRACT

*Paleomagnetic analysis in conjunction with petrographic observations on Mesozoic carbonates from the southern Pyrenees reveals that the magnetization of those rocks is a secondary CRM residing in both goethite and hematites of diagenetic origin. Time constraints indicate that hematite is older in age and is associated to a dedolomitization process which probably spanned longer in the Sierras Marginales than in the Montsec units. The characteristics of the unraveled components allow to speculate about some paleoenvironmental and tectonic aspects.*

**Key words:** Paleomagnetism, remagnetization, diagenesis, goethite, hematites, Pyrenees.

*Geogaceta*, 15 (1994), 105-108

ISSN: 0213683X

### Introducción

El análisis de las propiedades magnéticas de las rocas, generalmente evidencia la presencia de diversas fases ferromagnéticas que son portadoras de la magnetización remanente natural (MRN). El origen de estas fases minerales puede ser diverso (detrítico, autigénico, producto diagenético a partir de otras fases minerales, etc.) determinando así el carácter primario o secundario de la componente magnética en particular. Obviamente la temporalidad de la magnetización puede referirse a cualquier evento que haya afectado a la roca posteriormente a su formación (plegamiento, metamorfismo, diagénesis, etc). En este sentido el paleomagnetismo es potencialmente una herramienta muy útil para la datación de todos estos efectos cuando se cumplan una serie de condiciones: 1) Determinación y asignación de una componente magnética a una fase mineral determinada; 2) Relación de la fase mineral con un evento geológico; 3) Asignación de edad a la magnetización mediante comparación con los paleopolos de referencia.

Los minerales magnéticos formados por alteración química son generalmente óxidos e hidróxidos de hierro ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hematites,  $\alpha$ -FeOOH goethita) que son considerados normalmente como productos indeseables aunque ocasionalmente se han usado en interpretaciones paleomagnéticas. Así, se ha des-

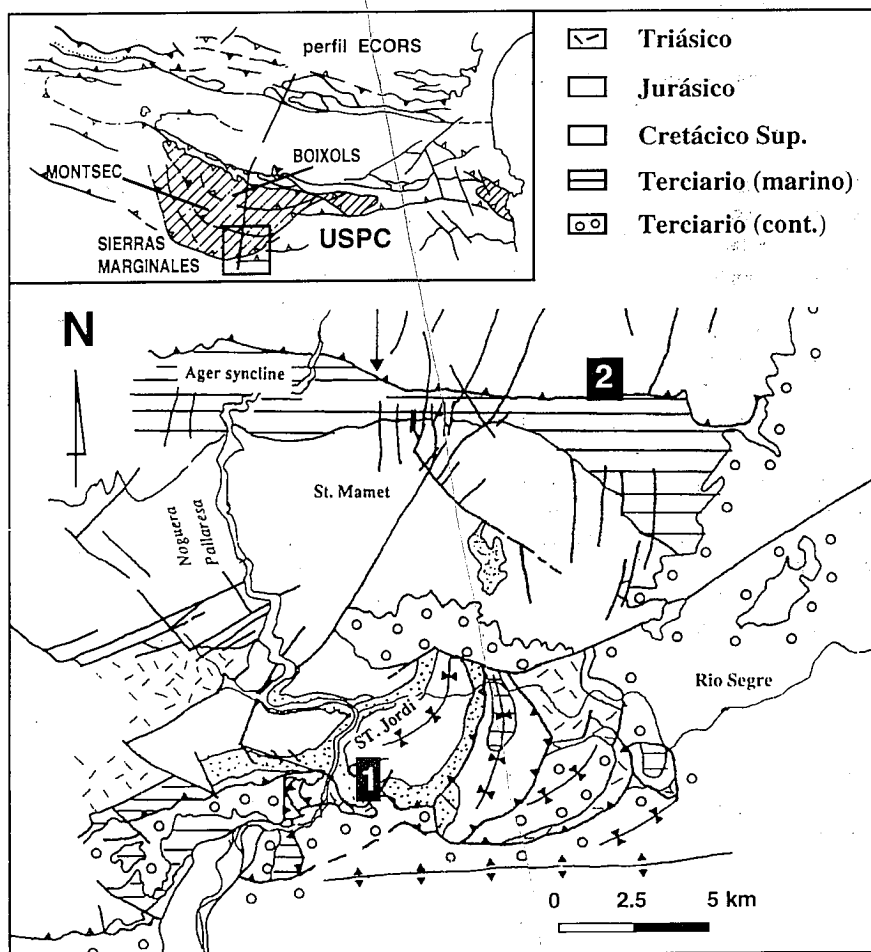


Fig. 1.— Situación de las áreas muestreadas: 1) Unidad de St. Jordi (Sierras Marginales; 2) Montsec.

Fig. 1.— Location of sampling areas: 1) St. Jordi Unit (Sierras Marginales; 2) Montsec.

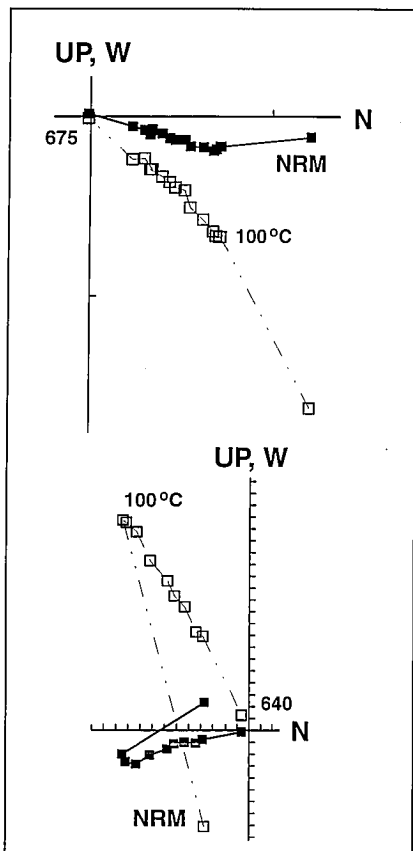


Fig. 2.— Diagramas ortogonales de desmagnetización térmica típicos (coordenadas in-situ) de calizas del Cretácico superior de las Sierras Marginales. Los símbolos rellenos (vacíos) representan proyecciones en el plano horizontal (vertical).

Fig. 2.— Typical in-situ coordinates orthogonal plots of thermal demagnetization of Upper Cretaceous limestones from the Sierras Marginales. Solid (open symbols) represents projections on the horizontal (vertical) planes.

mostrado como el análisis paleomagnético de algunos carbonatos del Jura proporciona evidencias para la determinación del tiempo de alteración y su relación con la deformación tectónica (Johnson *et al.*, 1984; Gehring y Heller, 1989). Asimismo se han podido datar absolutamente ciertos eventos diagenéticos (dolomitización, desdolomitización) en rocas carbonatadas (p. ej. Elmore *et al.*, 1985; Addison *et al.*, 1985).

En esta nota se presentan evidencias paleomagnéticas y petrográficas de remagnetizaciones asociadas a procesos diagenéticos tardíos en rocas carbonatadas de las unidades cabalgantes de las Sierras Marginales y del Montsec en el Pirineo meridional.

## Marco geológico y muestreo

La Unidad Surpirenaica Central (USPC) (Séguret, 1970-1972) (fig. 1) está constituida por materiales de cobertera despegados y desplazados hacia el Sur por encima del Triásico superior. Internamente la USPC comporta diversas unidades estructurales o láminas cabalgantes emplazadas generalmente en una secuencia de propagación hacia el antepaís entre el Cretácico superior y el Oligoceno (Muñoz *et al.*, 1986; Martínez *et al.*, 1986), aunque la edad es más moderna hacia el oeste. En la parte centro-oriental de la USPC, donde se sitúa el perfil ECORS (fig. 1), se pueden diferenciar tres grandes unidades cabalgantes que de norte a sur son: la unidad de Bóixols, la unidad del Montsec y la unidad de Sierras Marginales. La cuenca de Tremp-Graus, rellena con materiales sintectónicos terciarios, constituye una cuenca *piggyback* o *top-basin* situada en la lámina del Montsec.

Las 12 estaciones paleomagnéticas presentadas en este trabajo comprenden diversos materiales carbonatados de edad Jurásica y Cretácica de la lámina cabalgante del Montsec y de la unidad de St. Jordi integrada en las Sierras Marginales. Cada estación comprende un promedio de nueve muestras cilíndricas que fueron perforadas y orientadas directamente en el campo.

## Resultados paleomagnéticos

### Sierras Marginales

En la unidad de St. Jordi se localizan tres estaciones en carbonatos del Cretácico superior (Campaniense-Maestrictiense) y tres estaciones en el Jurásico inferior. La intensidad de la magnetización remanente natural (MRN) es variable entre y dentro de cada estación estando comprendidas en el rango de 0.14 a 2.54 mA/m. La desmagnetización térmica y por campos alternantes pone de manifiesto la existencia de varias componentes de magnetización portadas por fases minerales de alta coercitividad y temperaturas de desbloqueo variables que apuntan a la presencia mayoritaria de goethita y hematites como minerales ferromagnéticos. En general se observan dos componentes magnéticas durante la desmagnetización térmica de la MRN (fig. 2). Una componente se desbloquea en temperaturas inferiores a 150 °C. La segunda componente, que tiende hacia el origen

del diagrama ortogonal de desmagnetización, es desbloqueada hasta temperaturas superiores a 600 °C.

Experimentos de adquisición de magnetización remanente isotérmica (MIR) y su posterior desmagnetización térmica, confirman por un lado la presencia de fases de alta coercitividad, ya que las muestras no llegan a saturarse incluso en el campo máximo aplicado (6 T). Por otra parte, la temperatura de desbloqueo inferior a 150 °C de parte de la MRI indica la presencia de goethita mientras que las temperaturas superiores a 600 °C son indicación de hematites (Lowrie y Heller, 1982).

Las direcciones calculadas de las componentes de baja temperatura (goethita) y de alta temperatura (hematites) de todas las estaciones se han representado antes y después de la corrección tectónica en la fig. 3. La dirección media de la componente portada por la goethita, antes de la corrección tectónica, presenta una dirección similar a la del campo geomagnético actual. Tres muestras presentan polaridad inversa de la componente de baja temperatura. Después de la corrección tectónica existe una dispersión de las direcciones que resulta en una prueba del pliegue negativa.

La componente de alta temperatura (hematites) presenta una dirección media, antes de la corrección tectónica, rotada 15° hacia el NE y las dos polaridades. Después de la corrección tectónica también ocurre un aumento en la dispersión de las direcciones. Cabe señalar que antes de la corrección tectónica existe una cierta distribución en la declinación de las direcciones.

### Montsec

En la unidad del Montsec se sitúan dos estaciones en el Jurásico y cuatro estaciones en el Cretácico superior. Las dos estaciones del Jurásico se sitúan en calizas de color gris oscuro y ocre que presentan intensidades variables de la MRN en el rango 0.03 a 0.18 mA/m. La desmagnetización térmica y por campos alternantes muestra la presencia de dos componentes en alguna de las muestras. Una primera componente es desmagnetizada a temperaturas inferiores a 150 °C y la otra componente a temperatura medias alrededor de 500 °C o en campos alternantes de 60-70 mT. En otras muestras sólo se observa la componente de temperatura intermedia. La dirección media de la componente de baja tempe-

ratura (goethita) antes de la corrección tectónica es parecida a la del campo geomagnético actual (fig. 4). Después de la corrección tectónica esta componente presenta una inclinación más baja que la esperada para cualquier campo geomagnético posterior al Jurásico, indicando un origen secundario. La componente de temperatura intermedia, a pesar que no existe una prueba del pliegue conclusiva, presenta una dirección más coherente después de la corrección tectónica (Dec./Inc. = 344/47,  $\alpha_{95} = 8.1$  k = 41.5) que antes de la corrección (Dec./Inc. = 319/+60,  $\alpha_{95} = 9.5$ , k = 30.6) además de mejorar sensiblemente los parámetros estadísticos. Por todo ello esta componente se considera de origen primario y por tanto representa el campo geomagnético del Jurásico. Al compararlo con la dirección Jurásica de referencia se deduce que no ha existido una rotación relativa de la lámina cabalgante del Montsec en este sector durante su emplazamiento (Dinarès Turell, 1992; Dinarès Turell *et al.*, 1992).

Las cuatro estaciones situadas en carbonatos de coloraciones rojizas del Cretácico superior la intensidad de la MRN varia entre 0.05 a 3 mA/m. En la mayoría de los casos solo se observa una componente de desmagnetización desbloqueada en un amplio rango de temperaturas hasta un máximo de 640 °C indicando la presencia de hematites. En todos los casos la polaridad de esta componente es negativa y presenta una inclinación demasiado baja después de la corrección tectónica para representar un campo geomagnético Mesozoico o posterior (fig. 4). La prueba del pliegue realizada con las direcciones medias de cada estación resulta claramente negativa (se pasa de  $k=318$  antes de la corrección a  $k=92$  después de la corrección tectónica) demostrando el carácter secundario de esta componente. En la estación J46, situada en calizas detríticas de color rojizo variable del Maastrichtiense, presenta un comportamiento magnético muy particular (Dinarès y McClelland, 1991) y excepcionalmente existe una componente asociada a un mineral de baja coercitividad (magnetita?) que se ha postulado de origen primario.

#### Discusión y conclusiones

Los resultados experimentales descritos anteriormente ponen de manifiesto que la magnetización remanente natural (MRN) de los carbonatos estu-

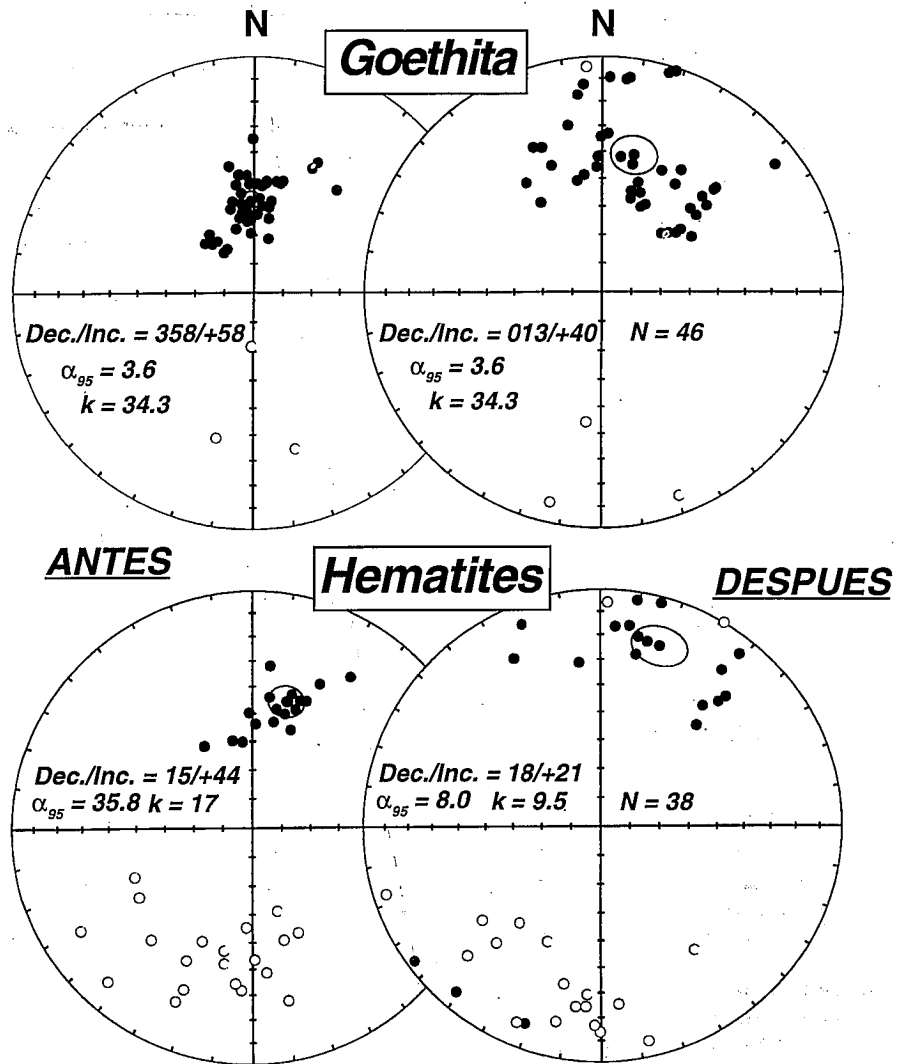


Fig. 3.—Proyección estereográfica antes y después de la corrección tectónica de las componentes de la goethita y hematites de las estaciones de las Sierras Marginales. La elipse del cono de confianza del 95% de la dirección media también se representa.

Fig. 3.—Equal-area projections showing the goethite and hematite directions for the Sierras Marginales sites both before and after the tectonic correction. The ellipse of the 95% confidence cone about the mean direction is also showed.

diados del Jurásico y Cretácico en las Sierras Marginales y el Montsec está asociada fundamentalmente a goethita y hematites aunque ocasionalmente también existe una fase del tipo de la magnetita. En las Sierras Marginales, tanto la componente portada por la goethita como la que porta la hematites presentan las dos polaridades. Este hecho, que en general podría presuponer un origen primario de la magnetización, no es válido en este caso ya que la prueba del pliegue realizada para cada uno de los dos componentes da un resultado negativo (fig. 3). Esto permite asegurar un carácter tardío (postplegamiento) para ambas magnetizaciones. Otro hecho importante es la diferencia angular

entre las direcciones medias de la componente de la goethita y la de la hematites. Esto indica que el bloqueo de las magnetizaciones en ambas fases tuvo que ocurrir en momentos distintos y a su vez suficientemente largos para permitir el bloqueo de las componentes en las dos polaridades.

En las estaciones de la lámina cabalgante del Montsec la componente de la goethita presenta siempre polaridad normal y la de la hematites polaridad inversa (magnetización en periodos distintos). Las direcciones medias de ambas componentes no son significativamente diferentes entre si y se corresponden con la dirección del campo dipolar reciente. La polaridad inversa de la

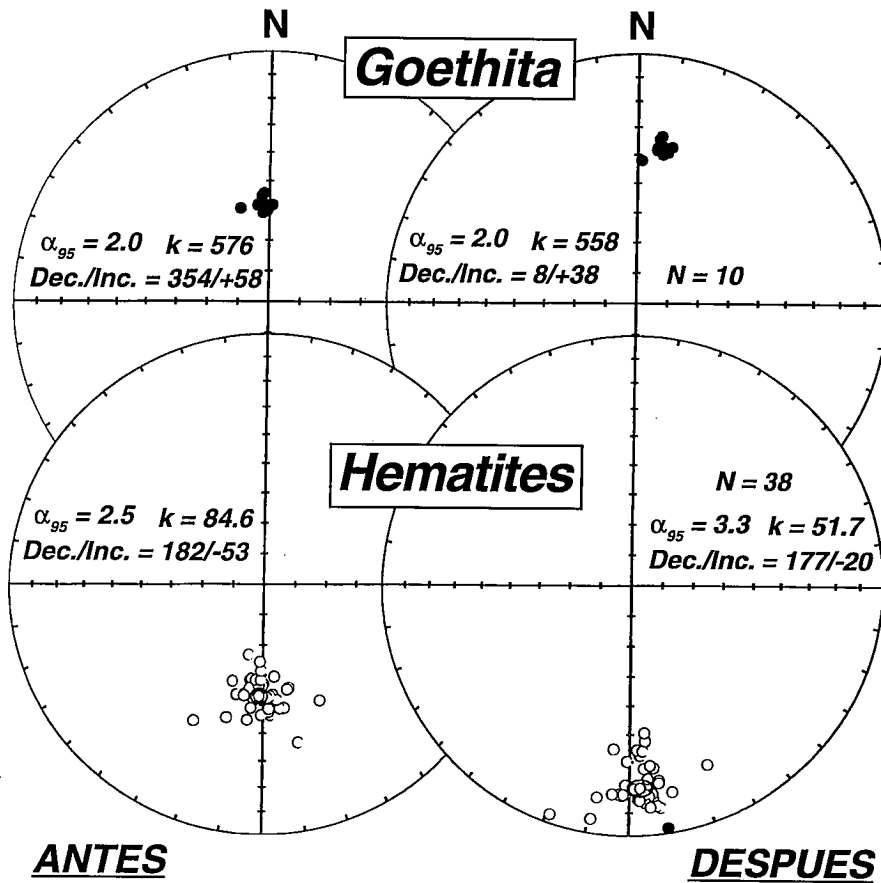


Fig. 4.— Proyección estereográfica antes y después de la corrección tectónica de las componentes de la goethita y hematites de las estaciones del Montsec. La elipse del cono de confianza del 95% de la dirección media también se representa.

Fig. 4.— Equal-area projections showing the goethite and hematite directions for the Montsec sites both before and after the tectonic correction. The ellipse of the 95% confidence cone about the mean direction is also showed.

componente asociada a hematites ha de ser pre-Brunhes (< 700 000 y) y posterior al plegamiento (emplazamiento) de la unidad del Montsec, que se considera de edad Ypresiense en este sector (Séguret, 1970-1972; Garrido Megías, 1973; Williams y Fisher, 1984).

Las magnetizaciones descritas se interpretan pues como magnetizaciones remanentes químicas (MRQ) residentes en hematites y goethita de origen diagenético que permiten especular a su vez sobre la existencia de dos eventos diagenéticos distintos. En este sentido, estudios paleoambientales (Schwertmann, 1988) asocian la formación de hematites a épocas de clima cálido y seco mientras que la goethita representaría un clima relativamente frío y húmedo. Observaciones petrográficas en el microscopio óptico han permitido observar una relación entre los óxidos de hierro y romboedros posiblemente de calcita (desdolomita). Los óxidos se encuentran formando zonas romboédri-

cas (parte externa y zonas internas) denotando el carácter zonado de la dolomita previa. Hematites y goethita están asociados comunmente a desdolomita y se interpretan generalmente como productos de la desdolomitización de dolomita ferrosa (p. ej. Frank, 1981).

La similitud de la dirección media de la goethita, antes de la corrección tectónica, con la dirección del campo geomagnético actual y el dominio de la polaridad normal indican que se trata de la magnetización más tardía, la cual es atribuible al Pleistoceno y predominantemente Brunhes (< 700 000 y). La existencia de las dos polaridades en la componente de hematites en las Sierras Marginales indica un intervalo de tiempo relativamente largo para la remagnetización. Su declinación hacia el NE indica que su edad es anterior a la de la goethita y permite especular sobre varias hipótesis sobre su origen que no es posible discriminar con los datos actuales: 1) Podría tratarse del reflejo de un

campo geomagnético anómalo no dipolar durante el Terciario (Westphal, 1993); 2) Representa una remagnetización postplegamiento terciaria que indica una rotación estructural horaria local según un eje vertical de la unidad de St. Jordi; 3) Igual que el caso 2) pero la rotación horaria reflejaría la rotación de un bloque mucho mayor («bloque del Ebro») en coherencia con los datos de Parés *et al.*, (1988). Nótese que en este último caso el límite de este bloque se situaría al sur de la lámina del Montsec ya que no existe rotación de la componente de la hematites en este caso, si asumimos una edad similar de la hematites de las Sierras Marginales y la del Montsec.

Referencias

Addison, F. T.; Turner, P. y Tarling, D. H. (1985): *J. geol. Soc. London*, 142, 983-994.  
 Dinarès Turell, J. (1992): Tesis Doct. Univ. Barcelona, 461 pp.  
 Dinarès Turell, J y McClelland, E. (1991): *Geophys. Res. Lett.*, 18, 7, 1297-1300.  
 Dinarès Turell, J; McClelland, E. y Santanach, P. (1992): In: K. R. McClay (Ed.), *Thrust Tectonics*, Chapman & Hall, 265-277.  
 Elmore, R. D.; Dunn, W. Y Peck, C. (1985): *Geology*, 13, 558-561.  
 Farrell, S. G., Williams, G. D. & Atkinson, C. D. (1987): *J. geol. Soc. London*, 114, 907-914.  
 Frank, J. R. (1981): *J. Sed. Petr.*, 51, 7-13.  
 Garrido-Megías, A (1973): Tesis Doct. Univ. Granada, 395 pp.  
 Gehring, A. y Heller, F. (1988): *Earth Planet. Sci. Lett.*, 93, 261-272.  
 Johnson, R. J. E.; Van der Voo, R. y Lowrie, W. (1984): *Geol. Soc. Am. Bull.*, 95, 478-488.  
 Lowrie, W. & F. Heller, (1982): *Reviews in Geophysics and Space Physics*, 20, 171-192.  
 Martínez, A., Vergés, J. & Muñoz, J. A. (1986): *Acta Geol. Hispánica*, 23 (2), 119-128.  
 Muñoz, J. A., Martínez, A. y Vergés, J. (1986): *J. Struct. Geol.*, 8, 399-405.  
 Parés, J. M.; Banda, E. y Santanach, P. (1988): *Phys. Earth Planet. Int.*, 52, 267-282.  
 Schwertmann, U. (1988): In: Stucki J. et al., eds., *Iron in soils and clay minerals*. D. Reidel Publishing Co., Dordrecht, 267-308.  
 Séguret, M. (1970-1972): *Pub. USTELA*, Sér. Geol. Struct, 2, Montpellier, 155 pp.  
 Vergés, J. & Martínez, A. (1988): *Acta Geol. Hispánica*, 23 (2), 95-106.  
 Westphal, M. (1993): *Earth Planet. Sci. Lett.*, 117, 15-28.  
 Williams, G. D. & Fisher, M. W. (1984): *Tectonics*, 3 (7), 773-780.